成矿规律和成矿预测学

卢作祥　范永香　刘辅臣　编著

中国地质大学出版社

高 等 学 校 教 材

成矿规律和成矿预测学

卢作祥　范永香　刘辅臣　编著

中 国 地 质 大 学 出 版 社

成矿规律和成矿预测学

卢作祥　范永香　刘辅臣　编著

责任编辑　蒋良朴　贾晓青

*

中国地质大学出版社出版

（武汉市喻家山）

湖南省地质测绘印刷厂印装

湖北省新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16　印张 16　字数 400千字

1989年12月第1版　1989年12月第1次印刷

印数 1—2500册

ISBN 7-5625-0392-3／P·112

定价：3.25元

前　言

《成矿规律和成矿预测学》作为地质科学领域内一门交叉学科，以其崭新的姿态，与读者见面了。

随着现代科学技术的迅猛发展以及人类对矿产资源需求量的不断增长，目前露头矿和近地表矿已越来越少，找寻和开发隐伏矿及难于识别的矿显得日益重要。这些矿产的找寻，不仅需要技术装备，而且更加需要理论指导。因此，加强以成矿规律为基础的成矿预测研究，力求从总体上提高矿产资源的普查效果，是当前地质界所面临的一项重要任务。

当代矿产普查勘探的中心问题，是如何选好、选准找矿远景区和评价点的问题。为了提高普查找矿的成效，采用新技术方法显得十分必要，但归根结底始终起主导作用的仍然是成矿地质控制因素、矿化信息以及成矿规律。为了适应我国普查找矿工作的迫切需要和促进成矿预测理论研究的发展，我校从1978年起开设了成矿规律和成矿预测学课程。本课程的特点是高度的综合性和探索性，学科内容几乎涉及整个地质学领域和全部探矿技术领域，加之成矿地质条件的千差万别以及现有各种成矿理论在某种程度上还具有假说的性质，因而更增加了本学科的复杂性。本教材以辩证唯物主义为指导，着重论述了控矿因素分析、矿化信息、成矿规律研究、成矿模式建立等内容，并在此基础上阐述不同精度要求的成矿预测方法以及找矿远景区的筛选和验证方法，强调充分发挥地质理论在预测找矿中的指导作用，从战略上选好、选准找矿靶区，尽可能减少工作失误，多找出各种矿产资源，以满足经济建设日益增长的需要。

本书根据近几年讲稿进行了整理和充实。第一、二章由范永香编写；第三、四章由卢作祥编写；第五、六章由刘辅臣编写。初稿完成后，由卢作祥统一修改定稿。本书曾于1981年在校内铅印，在地质、冶金等生产部门以及有关院校广泛试用，并于1983年重印。根据反馈的信息，在内容上作了适当增删和调整，以满足读者的需要。

本书编写过程中曾得到中国地质大学领导的热情关怀与鼓励；全书由邓璟教授和王俊发教授详细审阅，提出了修改意见；书中插图由校绘图室崔宁、张洪波等清绘，对上述各方面的热情关怀与支持，编者深致谢意。

限于编写时间和业务水平，书中不足和纰漏在所难免，衷心希望广大读者予以批评指正。

编　者

1988年1月

绪　言

成矿规律和成矿预测学是经济地质学的一个重要分支，是研究成矿规律以及如何筛选成矿远景区的一门新兴学科。它以辩证唯物主义思想为指导，运用适合本地区的地质理论和假说，采用合理有效的途径和方法，研究成矿规律，对不同范围（区域、矿田、矿床等）的成矿远景区做出预测评价，并在实践中不断检验预测效果，不断提高预测水平。

成矿规律和成矿预测学从找矿勘探生产实践中发展起来，又直接服务于生产实践。它是经济建设所需要的一门应用学科，其基本任务是：

（1）论述控矿地质因素和矿化信息、预测准则和标志、成矿规律和成矿模式，为矿产预测提供科学依据，为普查找矿指出方向；

（2）阐述成矿预测工作分类，包括大区成矿预测、区域成矿预测和矿区成矿预测的特点、作用以及三者间的关系；

（3）系统介绍成矿预测方法，其中包括成矿地质分析、成矿远景区的筛选、范围的圈定和级别的划分，预测图的编制以及模式的建立，现场验证、评价等；

（4）成矿规律和成矿预测学基础理论的进一步研究，其中包括理论体系的不断检验、修改与充实，预测模型的建立、改进与完善，预测信息的不断发掘与扩充，预测方法过程的电子计算机模拟等。

成矿规律和成矿预测学是一门涉及面广、综合性探索性强的交叉学科。它充分发挥地质理论在找矿中的指导作用，将各门基础地质学科更广泛地应用于找矿勘探实践，所以它是沟通地质理论与找矿实践的桥梁，是矿床学、区域地质学与找矿勘探地质学相结合的产物。因此，它与上述三个学科关系最为密切，同构造地质学、地质力学、大地构造学、板块构造学、勘查地球化学、勘查地球物理、遥感地质学、岩石学、地史学、岩相古地理学以及地质勘探中统计分析等学科也有密切的关系。

矿产资源是国家建设的重要物质基础。当前易于寻找的露头矿和近地表矿已愈来愈少，找矿面临难度加大、费用增高、成功率降低的新形势。这就要求我们重视加强以成矿规律研究为基础的成矿预测，使找矿工作由主要找地表矿、浅部矿，向主要找隐伏矿和难于识别的矿转移，并有计划地在研究程度较低的边远地区，积极开展新区的特别是急缺矿产的找矿工作，以满足经济建设对矿产资源日益增长的需要。

实践证明，从几十个矿化点中，才能筛选出一、二个有工业价值的矿床。找矿勘探要取得高效益，必须重视开展成矿预测，使找矿勘探工作建立在科学基础上，从一开始就在远景区、评价点的选好、选准上下功夫，这样可以迅速筛选靶区，集中力量，有的放矢。防止在选区、选点这个关键问题上走弯路，避免在无远景的地段或矿点上耗费人力和物力。由此可见，成矿预测是一项战略性的地质工作，是促使找矿勘探事业迅速发展、提高工作成效的有力措施和先行步骤。它的成果可以为地质找矿工作长远规划和安排部署提供重要依据。近几年来我国地矿和冶金等部门已经系统地开展了不同比例尺的成矿预测工作，这对提高找矿成效、实现地质找矿的重点转移具有重大的意义。

解放以来，我国地质队伍和找矿勘探事业在党的领导下，从小到大，迅速发展，在保证社会主义建设所需矿产资源方面做出了很大的贡献。据不完全统计，世界上已知的 150 多种

矿产，我国都已发现，其中已探明储量的有130多种。我国已成为世界上矿产种类比较齐全的少数国家之一。过去矿产不配套、分布不平衡的状况已有很大的改变。根据我国地质特点提出的地洼成矿、叠加成矿、陆相生油、陆相成钾、多级构造体系控矿等成矿理论，推动了我国成矿学的发展。世界上稀有的或新的矿床成因类型，在我国不断有所发现。我国的科研和生产人员通过对长江中下游铁铜矿床、南岭地区锡钨矿床、西南地区红层铜矿床的深入研究，提出了很有特色的成矿模式。多年来我国先后编制了不同比例尺的成矿规律图和预测图，在石油、煤、铁、金、铜、锡、钨、金刚石等矿产的预测中，已获得明显的成效。

随着我国社会生产力的迅猛发展，对各种矿产资源的需求将大大增加，这就要求我们加强地质工作，加强对矿产资源的预测普查工作，以期在数量上、质量上、品种上和平衡分布上保证国家建设的需要。目前我国某些矿物原料的探明储量还不能满足现代化建设日益增长的需要。如富铁、铬、钾等矿还没有重大突破，相当一部分重要矿种是富矿少、贫矿多，矿床系统研究较差，区域成矿规律综合研究薄弱，矿产预测水平有待进一步提高。因此，必须认真开展矿床基础理论和成矿地质的研究，深入探讨成矿规律、成矿系列和成矿机制，以丰富成矿理论，提高预测水平，为实现四个现代化，提前准备好足够的矿产资源。

为了完成摆在我们面前艰巨而光荣的任务，发展我国找矿勘探事业，我们必须很好地研究和总结建国以来进行预测找矿工作的成功经验和失误教训，同时也要有分析地学习借鉴外国有关的理论和技术，把我国找矿勘探事业以及成矿规律和成矿预测科学推向新的水平，这是我们长期为之奋斗的伟大目标，也是我们肩负的伟大历史使命。

目　录

第一章　控矿地质因素分析

成矿预测的基础是对成矿规律的研究。成矿作用是地质作用的一部分，各种矿产形成于一定的地质背景，因此，成矿规律研究首先要从分析控制和影响矿床形成的各种地质因素着手，通过它将各个基础地质学科的理论，广泛应用于矿床预测评价的实践。控制成矿的地质因素，包括构造、岩浆活动、地层、岩相、古地理和地球化学等因素。它们在成矿过程中的作用虽各不相同，但互相联系。一个矿床的形成往往是各种因素综合作用的结果。对内生矿床来说，构造因素很大程度上决定了成矿的空间展布形式，而岩浆活动和区域地球化学因素决定了矿质来源和成矿元素迁移富集的特点。对外生矿床来说，地层因素决定了成矿的时间分布，古地理环境的变迁决定了成矿的空间展布。通过控矿因素分析，要查明各因素与矿化的联系。凡与矿化联系紧密的因素，都为主要的控制因素，也是矿床预测评价的重要地质准则。

下面就最重要的控矿因素，逐一做简要论述。

第一节　构造因素分析

构造因素是控制矿床形成和分布的重要因素之一。就构造在成矿过程中的作用而言，可以分为导矿、散矿和容矿构造；从构造运动与矿化的时间关系而言，可以分为成矿前、成矿时和成矿后构造，它们对成矿物质的集散起着不同的作用；就构造发育的规模而言，可以分为全球性构造、区域性构造、矿田矿床范围的构造。不同级别、不同规模的构造，对成矿起着不同的控制作用，它们分别控制了矿带、矿田、矿床以及矿体的产出和展布。

一、研究构造控矿因素的重要意义

构造因素对成矿的控制作用，主要表现在以下几个方面：

(1) 构造对成矿地质背景的控制。构造特征反映了地壳发展历史，不同的构造单元反映了不同的地质背景和环境，而不同的地质背景有不同的矿床形成和展布。

(2) 构造运动是驱使地壳物质运动的主导因素。对内生成矿作用而言，构造运动导致地壳内成矿物质的迁移，同时也给矿液运移提供了通道和聚集场所；对外生成矿作用而言，各类拗陷盆地是成矿物质的停积场所，而隆起剥蚀区则提供物质来源，从而决定了矿化的空间分布。

(3) 构造运动往往是划分不同成矿期和成矿阶段的依据之一。各种成矿作用的发展演化都与地质构造活动的发展演化密切相关。在一些矿区内，人们可依构造活动演化而划分出不同的成矿阶段。

(4) 多期成矿、叠加成矿往往同与矿源层（或先成矿化）相沟通的构造有关。它可造成矿化贫富不均，这对各种层控矿床尤为重要。矿源层只指示远景区所在，而其中的工业矿体的产出部位往往与有利的构造部位有关。如变质岩区的石英脉型金矿床，含金丰度高的层位

只指明远景区范围，而控矿的断裂构造则具体控制了矿床和矿体的形态、产状和空间展布。

（5）矿床分布与构造分带和构造的多期活动有成因联系。矿化有序分布的规律，在指导盲矿预测中起着重要作用。

（6）成矿后的构造，对先成矿床起着不同的改造作用。构造可使浅部矿体深埋，或将深部矿体抬升而出露地表。层状矿体可因褶皱作用而加厚或变薄。构造可以影响原生矿石的表生风化过程，从而形成风化壳型或淋滤矿床，有些矿体风化剥蚀很深，终至破坏无存。

二、大地构造因素对成矿的控制

大量的资料表明，大地构造与大范围的成矿区（带）之间有某种固定的联系。大地构造控制了大的成矿带（或成矿区域）的形成和展布，人们进行区域成矿分析时，即以不同的大地构造单元和不同的区域地质构造特点为基础。因此大地构造的研究，对指导战略性的区域成矿预测具有重要意义。

由于不同的大地构造学说，对地质构造形成发展历史和运动机制的认识不同，目前区域成矿分析还不能用一个统一的模式进行。下面我们将主要大地构造学派有关成矿分析理论，分别作扼要介绍。

（一）用地槽、地台、构造-岩浆活化区理论分析构造对区域成矿的控制

人们早就注意到世界上一些大型矿带的分布往往与主要的地槽褶皱带相一致，因而首先开展对地槽褶皱带的成矿规律研究。

1．地槽区的成矿分析

Ю.А.毕力宾在编制苏联境内重要成矿带成矿规律图和预测图的基础上，认为地槽的发展一般经历了三个主要阶段，不同类型矿化与地槽发展演化相适应，他建立了地槽发展三阶段的模型。

（1）早期阶段：地槽开始剧烈下沉，中心部分伴随海底火山的强烈喷发，形成细碧角斑岩系、火山-碳酸盐沉积岩系和火山-硅质沉积岩系，典型矿床是含铜黄铁矿矿床（如乌拉尔和祁连山地槽）。继而在地槽边缘地带发生褶皱断裂，沿断裂有基性、超基性岩的侵入，伴随形成Pt、Cr、Cu、Ni和钒钛磁铁矿矿床。同时有派生的斜长花岗岩、正长岩以及Cu-Fe矽卡岩型矿床的形成；

（2）中期阶段：为主要褶皱阶段，轴部因花岗岩岩基的侵入而隆起，边缘相对下降。这时形成产于碳酸盐岩系与花岗岩接触带的矽卡岩型白钨矿、热液型Au、Mo、Pb、Zn等矿床。而侵入于硅铝质岩层的花岗岩，则有伟晶岩型、云英岩型 W、Sn、Ta、Li、Be 矿床的形成。外生矿床则有煤、石油等；

（3）晚期阶段：大规模的褶皱运动结束，地槽逐步向年轻地台转化。地槽的边部和接合部位断块发育，并伴随中酸性小侵入体的形成，有热液型Sn、Au、Ag、Hg、Sb、As 等矿床的形成。此外有与晚期安山岩-英安岩有关的火山-热液矿床的形成。沉积岩为杂色岩建造（粘土-砂互层），有Fe、Cu、V、U的沉积矿床和膏盐、油、气、煤等沉积矿床出现。最后趋向于稳定而过渡为年青的地台。在向地台过渡时有Pb、Zn和萤石、重晶石等低温热液或层控型矿床形成。

因此进行区域成矿分析时，需从建造分析入手，进而确定研究区所属地槽发展的历史阶段、每个阶段地槽的不同部位形成不同的构造-岩浆带和相应的不同构造-成矿带。在地槽内

进一步可划分为内部带、边缘带、地槽海沟、中间地块、地槽边缘、边缘深断裂等次级构造单元。地槽发展不同阶段的岩石建造和有关的矿床参见表1-1。Ю.А.毕力宾学说的核心是建立了历史-地质（演化）和构造-物质的分析方法。后来许多学者按这一方向又做了大量工作。

表1-1 地槽发育早、中、晚期岩石建造和标型矿床

（据B.И.斯米尔诺夫）

建造组	建　造	矿　床　类　型
	早	期
岩浆组	海底火山细碧-角斑岩	Fe和Mn的黄铁矿型硫化物和氧化物矿床
	橄榄岩	铬铁矿、Os和Ir的岩浆矿床
	辉长岩-辉石岩-纯橄榄岩	钛磁铁矿、Pt和Pd的岩浆矿床
	斜长花岗岩-正长岩	Fe和Cu的矽卡岩矿床
沉积组	碎　屑	砾岩、砂岩、粘土
	碳酸盐	Fe、Mn的氧化物和碳酸盐矿床，磷块岩、石灰岩
	海绿泥石	Fe和Mn的硅酸盐矿石
	硅　质	Fe和Mn的贫矿石
	沥青质	分散的有机物质，Fe、Cu、Zn、Mo的分散的硫化物，U、V的氧化物
	中	期
岩浆组	花岗闪长岩	矽卡岩矿床，主要是钨的矽卡岩矿床，Au、Cu和Mn、Pb和Zn的热液矿床
	花岗岩	Sn、W、Ta、Li和Be的伟晶岩矿床，钠长石-云英岩矿床和石英共生热液矿床
沉积组	复理石	沉积建筑材料
	可燃有机岩	可燃页岩
	晚	期
岩浆组	各种成分的小侵入体	深成热液矿床，主要是硫化物共生组合，复杂的矽卡岩矿床、火山
	地表火山	热液矿床
沉积组	磨拉石	沉积建筑材料
	杂　色	Fe、Cu、V、U的沉积-淋积矿床
	含　盐	盐类、石膏的蒸发岩矿床
	含碳氢化合物	石油、天然气和煤

2. 地台区的成矿分析

地台区与地槽区的成矿特征有很大差别。Ю.А.毕力宾没有重点论述，但认为从地质历史上考察，地台区往往从地槽发展演化而来。用于地槽区的历史演化和构造-物质分析方法亦可应用于地台区的成矿分析。

地台区具有盖层和基底双层结构特征。前寒武纪的基底成矿特征，在矿产组合上太古代以亲铁（Fe、Cr、Ni）和亲石（石墨、矾土）元素为主；元古代则以亲铁亲铜亲石元素（Fe、Cu、Ni、Co、TR、Au组合）并存为特征。矿床类型以各类变质矿床为主。控矿构造极其复杂，矿床往往经历过多次叠加改造的成矿作用。

地台盖层中有Fe、P、Al、煤、油气、盐等重要矿产，成矿作用与沉积和后生淋滤作用有关，可以针对不同的区域构造特征，划分出若干个不同的构造层，分别总结出其成矿规律。

3. 构造-岩浆活化区的成矿分析

这是近30年深入区域成矿分析后所提出的重要第三成矿单元，类似于我国学者陈国达提出的地洼区，陈国达对地洼区成矿分析做了大量调查研究，并得到了国内外学者的广泛支持。在地洼区，叠加成矿特征广泛存在，有重要的内生及外生矿床形成。在苏联A.Д.谢格洛夫等近年来做了大量工作，证明地壳内构造-岩浆活化作用及其成矿作用有周期性出现的规律，这与地槽多旋回发展规律有联系。构造-岩浆活化区以发育深渐裂体系和凹槽体系为特征，相应形成重要的成矿带。

4. 地槽地台成矿分析学派近年来的主要进展

该学派从40年代提出了系统的成矿分析理论和方法，特别是地槽发展演化三阶段模型的建立，把成矿作用和地质作用紧密联系在一起进行分析，形成了历史-地质（演化）和构造-物质的成矿分析方法，经过后来许多人的努力，在指导区域预测中发挥了重要作用。

作为一个很有影响的成矿分析学派，下述几个方面的进展是值得重视的：

（1）地槽发展多旋回成矿多旋回理论与地洼区成矿理论研究。我国著名学者黄汲清在广泛研究世界各个主要地槽褶皱带发展历史的基础上，提出了地槽多旋回发展的理论，将地槽发展划分为地槽阶段和后地槽阶段，共六个旋回，成矿作用也呈现明显的多旋回发展的规律，成矿组合和矿化类型，在前后构造旋回中周期性的形成，发展了Ю.А.毕力宾有关地槽三阶段发展演化的模型。这在指导区域成矿规律总结中具有重要的理论和实际意义。我国学者陈国达的地洼区成矿理论，在指导矿产勘查实践中也发挥了重要作用。

（2）加强了地槽区成矿区域性特征的研究。每个地槽区所处区域地质背景、发展历史和演化规律各异，成矿特征差异也很大，从而在大量成矿分析研究基础上，可以划分出不同的地槽类型。В.И.斯米尔诺夫根据岩浆活动、构造发育特征，将地槽分为А、Б、В、Г四类，各类地槽成矿特点列于表1-2。后来将其综合为亲玄武岩型和亲花岗岩型两大类地槽，分别以乌拉尔和魏尔霍扬地槽为代表。前者早期岩浆活动强烈，晚期岩浆活动微弱，有关矿化以亲玄武岩的Fe、Ti、Cr、Cu、Au等金属元素为主。后者岩浆活动早期弱晚期强，有关内生矿化以与亲花岗岩类有关的Sn、W、Au、Ag、Pb、Zn、Sb等金属元素为主。

表1-2 各种类型地槽成矿的某些特点

（据В.И.斯米尔诺夫）

大地向斜类型	А	Б	В	Г
发育的阶段				
早期阶段	很明显	相当明显	很明显	不分成典型的阶段
中期阶段	明　显	明　显	很明显	
晚期阶段	不明显	明　显	很明显	
地槽变为褶皱带的条件				
中期阶段的转化	晚期复理石拗陷的部分转化	晚期复理石拗陷的部分转化	完全转化	没有转化

续表1-2

大地向斜类型	А	Б	В	Г
		岩浆过程		
早期阶段				
火山成因岩石	很发育	发育	发育差	发育差
橄榄岩和辉长岩	很发育	发育差	发育差	发育差
斜长花岗岩和斜长正长岩	很发育	发育	没有	没有
中期阶段				
基性和碱性升高的酸性的	发育	很发育	很发育	发育
（花岗岩）	发育差	发育	发育	发育
晚期阶段				
各种成分的小侵入体	发育差	发育	很发育	很发育
		岩浆可能供给的区域		
形成岩浆的部位	过渡到硅铝层的玄武岩层	过渡到硅铝层的过渡层	硅铝层	过渡到玄武岩层的硅铝层
		地壳构造的特点		
矽铝层的厚度	小	中等	很厚	厚
		成矿的强度		
早期阶段	很发育	发育	没有	没有
中期阶段	发育	发育	发育	发育
晚期阶段	很弱	有显示	发育	很发育
		矿床的成因类型		
早期阶段				
黄铁矿型	很发育	发育	没有	没有
岩浆型	很发育	不发育	没有	没有
矽卡岩型	很发育	发育	没有	没有
中期阶段				
矽卡岩型	很发育	很发育	很发育	不发育
伟晶岩型和云英岩型	不发育	发育差	发育	不发育
晚期阶段热液的	不发育	发育差	发育	很发育
		矿床分布的规律性		
区域带状分布	明显 由三个类型的带所交互形成：(1)火山岩；(2)超基性岩和基性岩；(3)花岗岩类	相当明显 由两个类型的带所交互形成：(1)火山岩带；(2)花岗岩类	相当明显 由三个类型的带交互形成：(1)内部花岗岩带；(2)边部带；(3)大地向斜棚	不明显 同中期晚期发育阶段岩浆杂岩体有关的各种成分矿石的成矿带，各种程度的互相交替

（3）重视地槽发展历史演化规律的研究。矿床分布规律受地槽发展演化规律的控制，地槽发展有一定的方向性、多旋回性和继承性并伴有相应的成矿作用（表1-2）。如苏联高加索地槽褶皱带在地质演化岩浆活动和成矿作用的演化过程中，经历了加里东、海西、基米里和阿尔卑斯四个旋回，各旋回有不同的成矿组合，地槽范围在不断缩小，不同旋回的拗陷带由北向南退缩，相应地各旋回的早中期的岩浆活动和成矿作用也朝这个方向偏移。晚期小侵入

入关侵矿和体有化分带变得不够明显（图1-1）。

（4）地槽、地台学说与板块构造、建造分析等学派的结合，这对地槽地台形成机制和发展规律进一步加深了认识和理解。综合分析地槽发育的位置与板块构造活动，用全球构造观点来解释地槽的形成和发展演化，更丰富了成矿分析的内容和理论。

5. *地槽、地台、构造-岩浆活化区理论进行成矿分析存在的缺点*

（1）地槽褶皱带三个阶段模型的建立，没有充分考虑到地槽发展的区域性特点，不能概括地槽区所有成矿特征，即对不同地槽活动带和地槽内不同部位的成矿特征，有待深入研究。对地槽不同发展阶段之间的成矿继承性联系重视不够。另外，对地槽发展的多旋回性和多旋回成矿还应深入研究；

（2）对地台区的成矿分析理论和方法有待深入。对重要的外生成因矿床没有像内生矿床那样重视和深入分析；

（3）目前的资料和分析方法限于大区域较多，对于矿区的局部预测方法有待深入探讨。

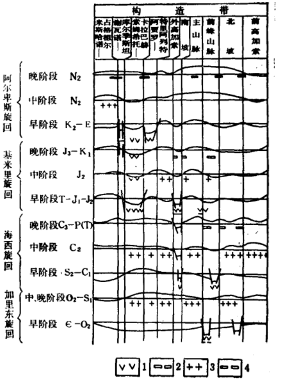


图1-1 高加索地槽地质演化、岩浆活动和成矿作用略图

（据B.И.斯米尔诺夫，1976）

1—细碧角斑岩和辉绿岩及与其有成因关系的黄铁矿型矿床带；2—早期阶段橄榄岩和辉长岩及与其有成因关系的岩浆型铬铁矿矿床和钛铁矿矿床带；3—中阶段花岗岩类侵入体及与其有成因关系的岩浆期后成矿带；4—晚阶段小侵入体及与其有成因关系的热液矿床带

（二）用板块构造理论，分析构造对成矿的控制

该学派以H.H.赫斯（Hess）、A.H.米契尔（Mitchell）、R.H.西利托等为代表，又称“全球构造学派”或“俯冲消亡学派”。这是近30年以来发展很快的一个新学派，从A.L.魏格纳（Wegener）的大陆漂移到瓦因（Vine）和马修斯（Matthews）的海底扩张，逐步形成了系统的板块构造学说。它冲破了传统的地学理论，提出了一个全新的板块构造理论体系，是60年代以来地学领域最重大的成就之一。

板块构造学说将壳幔分为性质不同的三层，即刚性的岩石圈、上地幔和软流圈，软流圈带动岩石圈运动。分全球为若干个板块，板块内可以进一步划分为若干个次级板块。板块之间不同性质的接触边界互相作用，决定了区域构造、岩浆活动和构造特征。板块边界基本上可划分三种基本类型：

（1）离散边界　两个板块背向移动，沿洋脊（中央海岭）或裂谷分开，新岩石圈在离散板块边缘形成。应力状态以拉张为主，正断层发育。

（2）敛合边界　两个板块相向运移，碰撞俯冲消亡的地方，包括岛弧带、毕乌夫

(Benioff)带，地缝合线等。在俯冲带以挤压构造为主，冲断层发育。

(3) 转换边界　以转换断层构成板块边界，两侧板块平行于板块边界作走滑运动，其应力状态是剪切的。

各类板块边界是构造最活动地带，而板块内部是相对稳定的环境。板块不同边界与内生矿床的关系综见图1-2。

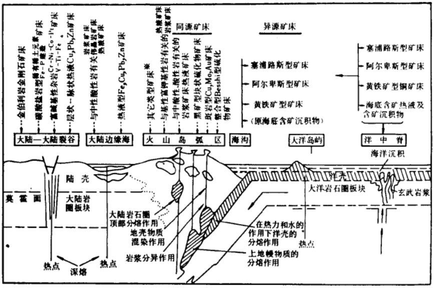


图1-2　板块构造-内生矿床组合示意图
（王润民据R.H.西利托修改，1980）

到一个工作区，首先要分析工作区处于板块的哪个部位，从而确定要重点预测评价的主要矿床类型。对于一些时代较老地层出露区，则首先要恢复古板块，对指导大陆内部的成矿规律的研究具有重要意义。洲际性的古板块对接和恢复，可用于指导洲际性的矿产资源战略预测。如对美、非两洲大区域的锡矿带预测（图 1-3）可作借鉴。

（三）用断裂构造理论，分析构造对成矿的控制

该学派强调线性构造带和深断裂对成矿的重要控制作用，故又称“线性构造学派”或“深断裂构造学派”，以苏联的M.A.法沃-尔斯卡娅、И.Н.托姆松（Томсон）、美国J.库廷纳等为代表。国内张文佑某些观点与其相近。

1．主要论点



（暗区表示锡矿带，黑色表示锡矿开采集中区）

图1-3　重建美非大陆上的锡矿带位置
（据R.D. Schuiling，1967）

（1）构造线性体对各类矿化起重要控制作用。构造线性体是泛指所有线性构造要素的组合，包括一些深断裂或一些深部构造在地表的反映，它们组成区域性的聚矿构造带；

（2）区域性的聚矿构造带，具有全球性和深成性特点，是地壳上一个高渗透带，在全球范围内大致都呈经向或纬向分布，在南半球和印度半岛多以经向性分布为主，而北半球则以纬向延伸为主。全球性和深成性的特点，还反映在它不受大地构造单元的限制，可以穿切不同的大地构造单元，往往在海上和陆上联成统一的构造体系。它与地表构造往往不完全一致，但与老的基底构造线却经常一致；

（3）聚矿构造带往往形成很早，一般在前寒武纪以前就形成，后来多次复合，沿聚矿构造带伴随多期次的杂岩体岩浆的活动，构成一些岩浆杂岩活动中心和矿化中心，由于构造带每次活动下切深度不同，因而成岩成矿特点也有不同；

（4）聚矿构造带的主要标志是发育深断裂带、岩浆杂岩带；沿构造带富B、F、K的交代岩发育；物探上表现为线性磁异常、重力梯度带及深源地震带，在地貌新构造运动上都有显示；

（5）区域主要内生矿化，特别是组分复杂的大型、特大型矿床，都集中在聚矿构造带与其它线性构造的交汇处，特别是不同级别、期次断裂构造的交叉点上，更是矿带中矿结、矿田有利分布区；强调成矿物质深源的重要性，聚矿构造带是深部成矿物质上升的通道和停积场所。

用这一观点编制出了世界重要矿床分布略图（图1-4）。

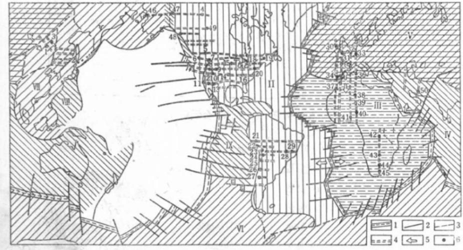


图1-4　与大陆区贯穿性聚矿构造伴生的矿化分布略图

（И.Н.托姆松、М.А.法沃尔斯卡娅，1979）据Э.布拉尔德、П.Н.克罗波特金等人补充

板块：Ⅰ—太平洋板块；Ⅱ—美洲板块；Ⅲ—非洲板块；Ⅳ—印度板块；Ⅴ—欧亚板块；Ⅵ—南极板块；Ⅶ—中国板块；Ⅷ—菲律宾板块；Ⅸ—纳斯卡板块

1—海岭；2—转换断层；3—大陆区板块的界线；4—聚矿构造；5—张力的方向；6—最重要的矿产（图上的数字）：1—Кличка（Pb-Zn），2—Дальнее（Pb-Zn），3—Нерчинский Завод（Pb-Zn），4—大熊湖区（U），5—沙利文（Pb-Zn），6—克尔达伦（Pb-Zn-Ag），7—比尤特（Cu），8—Тинтик（Pb-Zn），9—亨德逊（Mo），10—Теллурид-Сильвертон（Au），11—Крамер（B），12—Маунтин-Пас（TR），13—Моренси（Cu），14—三州地区（Pb），15—密西西比河上游（Pb），16—肯塔基中部（Pb），17—阿比提比（Au），18—萨德伯里（Cu, Ni），19—巴瑟斯特（Pb-Zn），20—富兰克林（Zn），21—塞罗-德-帕斯科（Cu-Pb-Ag），22—Токепала和Куахоне（Cu），23—Льяльягуа（Sn、Ag），24—Потоси（Sn、Ag），25—楚基卡马塔（Cu），26—萨尔瓦多（Cu），27—捷涅特（Cu），28—Тапира、Араша（碳酸岩），29—米纳斯-日赖斯伟晶岩，30—诺凡（Pb-Zn），31—康沃尔（Sn），32—Мегген（Pb-Zn-Ag），33—拉麦尔斯堡（Pb-Zn-Ba），34—阿耳马登（Hg），35—莫尔凡（F），36—撒丁岛萤石矿，37—布阿泽尔（Co, Ni），卡腊库勒哈曼（F），38—阿哈加尔（Sn），39—艾尔（Sn），40—乔斯（Sn），41—加纳金矿床，42—Лугулу北部（TR），43—赞比亚铜矿，44—布什维尔德（Pt、Ni、Sn）；45—维特沃特斯兰（Au），46—Лост Ривер（Au），47—Фербенкс（Au），48—Тредвелл（Au），49—Поинт（Pb-Zn），50—Эстиан（Ba）

2. 成矿分析

(1) 充分利用遥感地质方法和区测成果，首先划分出区域主要线性构造带，结合物化探异常和已知矿床的分布，从而确定区域聚矿构造带；

(2) 在聚矿构造带上圈出与其它构造的立体交叉点，结合岩浆活动，圈出矿结、矿田预测区。简言之，即"先定聚矿点，再找交叉点"。这样，方法简单，但重要的是深入研究成矿规律。

如J.库廷纳对美国西部内生矿产进行了预测。西太平洋底有一些纬向深断裂延伸到大陆基底，其中重要的是门多西诺（Mendocino）默里（Murray）及先锋（Pioneer）深断裂，据它们与其它方向线性构造的交叉点，加上区域成矿规律的深入研究，可圈出一些内生矿床的远景预测区（图1-5）。E.拉德克维奇、И.Н.托姆松和M.A.法沃尔斯卡娅等对苏联外贝

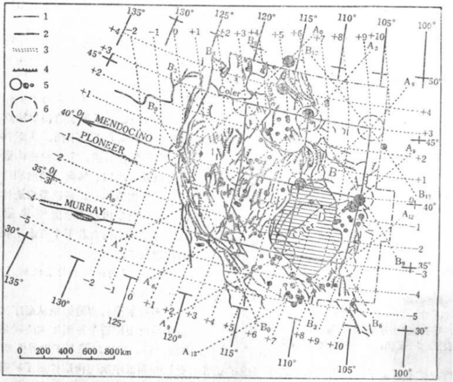


图1-5 美国西部巨大深断裂带轨迹模式所圈定的四个巨大地壳断块（A、B、C、D）

（据J.库廷纳，1969）

1—逆冲断裂，三角位于上冲盘；2—横推断层，箭头指示滑动方向；3—经验剪切轨迹；4—正断层（锯齿指向下降盘）；5—热液矿床；6—四组重要断裂交汇区

加尔和远东多金属矿带的研究表明，基底构造中的隐伏断裂在上部构造层中表现为密集的线性裂隙带，且基底隐伏构造网的方向是固定不变的。在苏联远东存在的纬向聚矿构造带，从南到北有7～8个近东西向构造带，锡霍特-阿岭山区和日本海的海底构造联成一个整体，一些大矿集中在聚矿构造带与NE、NW、SN三个方向断裂的交叉点上（图1-6）。据И.Н.托姆松的资料，美国西部几个重要成矿带，大矿也集中在NE向与纬向构造的交叉点上。在南美安第斯山有五个聚矿构造带，控制着秘鲁、智利、玻利维亚和阿根廷境内的Cu、Sn和稀

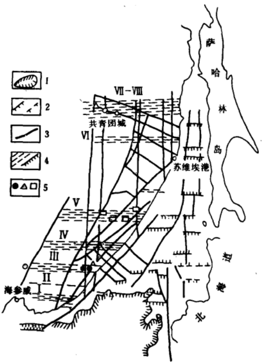


图1-6　锡霍特-阿林及与其毗连的海底的形态构造示意图

（据M.A.法沃尔斯卡娅等，1969）

1—深海盆地的范围；2—确定断裂带的海底纬向阶梯（锯齿指向下降断块）：a为反映明显的，б为反映不明显的；3—其他断裂；4—大陆上的纬向穿透断裂及沿其反映明显的阶梯地形（锯齿指向下降断块）；Ⅰ—普松断裂带，Ⅱ—弗拉基米尔断裂带，Ⅲ—捷秋赫-塔杜申断裂带，Ⅳ—伊曼断裂带，Ⅴ—比金断裂带，Ⅵ—索夫加万断裂带，Ⅶ—Ⅷ—苏尔库姆和庙昌断裂带；5—矿床：a—锡矿，б—锡锌矿，в—钨矿

有金属矿床。

（四）用地质力学理论，分析构造对成矿的控制

该学派为我国学者李四光所首创。地质力学的分析方法的主要研究内容是鉴定结构面的力学性质、确定构造序次和成生联系，建立构造体系，分析各类构造体系对各种矿床形成和展布的控制作用，从而指出矿化局部富集的规律。这一套系统的工作方法，在我国矿产勘查和各项地质研究中发挥了重要作用。

用地质力学理论进行成矿分析是以建立构造体系为核心，主要从下述五个方面进行：

1．研究不同构造体系的控矿作用

不同构造体系形成的历史特点，构造所及范围和深度不同，从而有不同的成矿组合出现。全球性的构造体系可以分为经向、纬向、斜向和岛弧形等巨型构造体系。各巨型构造体系内，可以划分出若干个次级构造体系，每个体系内含若干个有成生联系的构造型式。

2．研究构造体系的多级别多序次控矿作用

不同规模的构造体系从高序次的全球性巨型构造带控制了大的岩浆带和沉降带，相应地控制了世界性或大的区域性成矿（区）带；次级构造带控制了成矿亚带；更低级和低序次的构造控制了矿田、矿床和矿体。根据这一思路来指导我国东部新华夏构造体系对石油的控制的研究工作，总结出了多级控制的规律，拟定了“先找油区（远景区），再找油田”的科学程序，在石油勘探中发挥了重要作用。

3．研究构造体系不同部位的控矿作用

矿化往往发生在构造体系内的某一特定有利部位，这与构造的不同部位其构造性质和经历不同，所受应力状态、物理化学条件和围岩条件等不同有关。

4．研究不同构造体系复合控矿作用

不同时间、空间和力学机制的构造彼此叠加、干扰、利用，统称为构造的复合。不同构造体系复合部位是多种矿化的有利部位，这是我国近年来成矿规律研究取得的重要进展内容之一。构造体系复合控矿也具有多级控制的特点。巨型构造体系复合部位，往往是大区域的

找矿靶区；而中小型和低序次的构造体系复合，可作为成矿亚带，以至矿田矿床预测的有利靶区。如我国的南岭钨、锡矿带受南岭东西向构造带和北东向新华夏构造带控制，有时还有北西向康滇“歹”字型构造的参与（图1-7）。

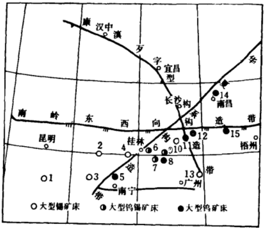


图1-7 南岭钨锡矿床分布特点示意图

（据苏季生，1981）

1—个旧锡矿；2—大厂锡矿；3—钦甲锡矿；4—宝坛锡矿；5—大明山钨矿；6—栗木钨锡矿；7—珊瑚钨锡矿；8—大桂山钨矿；9—石浪冲钨锡矿；10—东坡钨锡矿；11—瑶岗仙钨矿；12—西华山钨矿；13—锯板坑钨锡矿；14—阳储岭钨矿；15—行洛坑钨矿

5．*研究不同构造形迹特定部位的控矿作用*

指局部地区的各种具体构造形迹对矿化的局部化控制，在矿区预测中具有重要意义。我国应用地质力学理论进行区域成矿分析，已经积累了大量实际资料。我国学者王功恪提出用地质力学理论进行成矿域的划分（即成矿区带划分），要遵循统一的地球化学动力学条件，共同的成因联系与构造环境，共同的构造-地球化学演化阶段；要以构造体系为核心，深大断裂为骨骼，构造带延伸定方向，体系复合交汇部位定矿田位置；要以盖层类型及厚度定成因类型，以断裂活动时代定成矿旋回。他列举了全球重要的成矿带，几乎毫无例外地受深部构造体系的控制，这些成矿带大多数分布在深断裂的两侧，而且在不同方向构造交汇部位矿床特别集中。这一观点与前述断裂控矿的观点完全相一致。在某一特定成矿旋回中，起主导作用的只有一个方向的构造体系，其它方向的构造体系只起局部加强、配合或干扰、限制作用。

应该强调指出，建立构造体系控矿模型，把具成生联系的各种构造形迹及其控矿作用有机地综合分析，将大大增强预测能力。

三、不同构造型式对成矿的控制

不同构造型式往往具体控制了矿田或矿床的产出部位和矿体的形态与产状。翟裕生等结合我国的实际情况总结出有利于矿田分布的区域构造型式（图1-8）。这些构造型式的划分，为在大的成矿带内进一步寻找矿田和矿床提供了构造方面的依据。其中断裂与各种构造的交叉复合处占有重要地位。

矿田和矿床构造研究，在局部预测和矿床勘查中具有重要意义。大区域构造和小范围的构造二者要紧密结合，才能使构造研究得以深入。下面分断裂、褶皱、裂隙、构造界面和火成岩体构造五种构造型式，阐述其控矿特点及成矿有利部位，以期为预测找矿指出方向。

（一）断裂构造对成矿的控制

不同性质和规模的断裂构造，是地壳中常见的构造形式之一。较之褶皱构造具有数量多、分布广的特点，与成矿关系极为密切。在一个区域内，大的断裂构造往往是岩浆和矿液

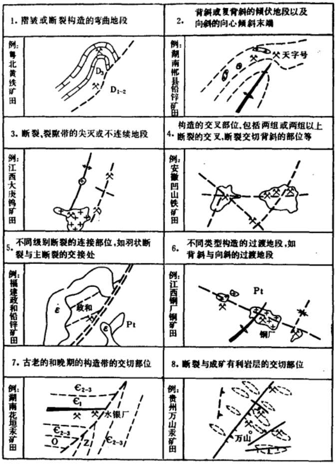


图1-8 主要的控矿区域构造型式图

（据翟裕生等，1979）

活动的通道，既控岩又控矿，常沿着主要的断裂或断裂带形成矿带或矿田。

如燕山地区的内生金矿床，多产于区域性深断裂与次级断裂交汇处，赤峰-开源深断裂与次级凌源-北票断裂带交汇的锐角区间，集中了金矿床（点）50多处，构成凌源-北票金矿带（图1-9）。吉林夹皮沟的金矿带处于区域性的NE向辉发河深断裂与次级的夹皮沟断裂交汇处。

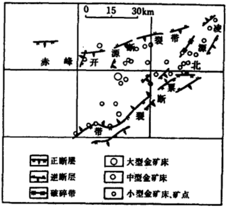


图1-9 燕山地区"入"字型构造控制金矿分布图

（据张品静、张甲忠，1982）

在各个重要成矿区，常常见到伴随断裂构造的发生及发展有岩浆活动、变质作用、沉积作用以及成矿作用的产生。断裂对成矿（主要是内生成矿）的控制不只是矿液活动的通道和

停积场所，而且是矿质活化迁移的主导因素之一。对外生矿床，断裂构造影响沉积环境和后期的改造作用。

在成矿预测中对断裂构造的研究，应从断裂构造控矿的机制出发，指出成矿的有利部位。成矿后断裂对矿床起破坏和改造作用，在预测找矿中也不可忽视。

1. 断裂性质和规模及其与矿化的关系

首先要查明控矿断裂的性质、规模、产状要素等。就力学性质而言，可将断裂为张性、压性和扭性三大类，三类断裂不同的成矿特点，综列于表1-3。

表1-3　三类断裂的不同特点的比较

断裂性质	围岩受力情况	成矿特点
张　性	围岩处于膨胀状态，孔隙度较高	结构面不规则状，延深较小，矿液易于通过。温压下降快，形成相对开放系统，以充填成矿为主。主要发生在浅部，受控的矿体呈脉状或向下尖灭的透镜状
压　性	围岩处于压缩状态，孔隙度渗透率都小	结构面呈舒缓波状，走向倾向延伸大，有尖灭再现的特点，温压下降慢，形成相对封闭系统，以交代成矿为主。完全压性断裂，对成矿相对不利
扭　性	兼具张性和压性的特点（压扭接近压性，张扭接近张性），孔隙度渗透率也介于二者之间	结构面产状平直，延伸大，有次级断层与主断裂共生，对成矿有利，充填交代作用均可成矿

在实际工作中，从断层结构面特点和伴生构造岩的性质，可以对断裂主要力学性质做出判断。有时在断裂构造活动过程中出现力学性质的改变，产生极为复杂的情况，所以要具体分析。张性、压性断裂活动过程中，常常都伴有扭应力作用，形成压扭性或张扭性断裂。压扭性结构面，常常是不透水面，在成矿过程中起着“屏蔽”作用，如贵州某汞矿即产于逆断层下盘分枝断裂中。华北一些油田也常在压扭性断裂的下盘聚积。不同性质的断裂，有着不同的物理化学特点，如压扭性断裂，封闭性较好，温度、压力下降缓慢，故金伯利岩中金刚石矿床，一般在压扭性断裂中含矿性较好，而在张性断裂中含矿性很差。对一个断裂系统还要详细分析其局部应力的变化，如在压性或压扭性断裂中在剖面上产状变化的部位，往往产生局部应力状态的变化，从而造成矿化的局部富集。在同一矿区，不同性质的断裂其物理化学环境有差异，因而矿物共生组合也有差异。如在广西某W、Sn矿，在扭性断裂中有结晶好的黑钨矿、锡石、萤石、电气石等共生，而在背斜轴部的纵张裂隙中则为低温的辉锑矿和石英脉等组合，结晶很差。一般纯张性断裂中矿化不是最好的，而张扭性断裂中矿化意义较大。不同力学性质断裂的派生构造也有不同特点，有助于查明受控矿脉的尖灭再现、侧现、侧伏等规律。

断裂构造的规模，包括断距大小，断裂沿走向和倾向的延伸距离、下切深度大小等。有的断裂深切上地幔，且长期活动，常称为深大断裂。它们往往是内生矿化，特别是壳下源矿化的控制构造，值得重视。

2. 断裂活动的时间和期次及其与矿化的关系

在一个地区往往存在不同时期的断裂构造，而矿化只与其中某一期或几期断裂构造有关，至于成矿后的断裂对矿体主要是改造和破坏。同一条断裂的不同活动期，其力学性质可

能发生变化。前期构造与后期构造互相影响。构造的多期活动，可以导致多期矿化的叠加，这些情况在各个矿区极为常见。一个矿床划分成矿阶段的主要依据之一，就是矿区的构造活动期次。一些层控矿床，断裂构造在成矿中起着重要作用，如我国分布极广的前寒武纪变质岩区的各类金矿，根据近年来的工作证明，矿化可能与一定层位有关，但工业矿体则多分布于断裂构造中，呈各种脉状矿体产出，现已发现的胶东的所有内生金矿床，无不与断裂有关。因此，对断裂构造的分析研究，有着重要的意义。

3．*断裂构造的有利成矿部位*

断裂控矿现象极为常见，但成矿毕竟只是在断裂中某些局部地段。从断裂控矿角度出发，广大地质工作者积累了不少实际资料，下列有利的成矿部位，对预测选区选点极为重要：

（1）不同方向断裂交叉处，主干断裂与次级断裂交汇处；

（2）断裂产状变化处，在平面上断层走向发生变化扭曲转弯等处。在剖面上张性断层，倾角由缓变陡处。压性断层由陡变缓处；

（3）断裂中局部圈闭好的部位，如压扭性的下盘，断层泥和蚀变构造岩起圈闭作用；

（4）断裂构造与有利岩层（脉）交汇或其它构造交切处等。

结合不同矿床的特点，可以划分出多种矿化局部富集的有利部位，划分多种控制矿化局部富集的构造类型。

4．*断裂构造分带对成矿分带的控制*

受断裂构造控制的一些内生矿床，在断裂构造的不同部位，由于边界条件的不同，在垂直方向和水平方向，往往显示一定的构造分带。通常在近地表，断裂破碎带较宽，张性特征明显，低序次配套分枝断裂发育，而向断裂的深部，变为密集的节理裂隙带和韧性剪切带，很少发育次级断裂，构造岩带变得很窄。如在胶东的招（远）-掖（县）金矿带，根据我们的工作，含金石英脉型（玲珑式）和含硫化物浸染型（焦家式）两种类型矿化，前者主要产出于主断裂带的次级断裂中，以充填成矿为主，而焦家式矿化相对出露标高较低，且矿化主要赋存在主断裂带中。两种矿化类型的垂直分带，与控矿的断裂构造分带关系密切。赣南粤北的石英脉型钨矿垂直分带，也主要是受构造分带控制的。

矿床分带的规律，用以指导深部盲矿预测，国内外都取得了很好的效果。

5．*断裂控矿的机制分析*

造成矿化在断裂中局部富集的原因极其复杂。就断裂构造本身而言，要考虑断裂的性质和规模、断裂活动的全过程，尤其重要的是每个有利成矿部位的应力状态、围岩孔隙度、压力差，成矿时该部位的物理化学环境，断裂所在的围岩介质特点等许多因素。

在构造应力作用下产生的断裂构造，不同性质的断裂和同一断裂的不同部位，应力强度并不均一，出现压力差时，矿液势必从高压强处向低压强处运移，矿化有利部位往往就是应力集中的地方，也就是构造活动强烈，多次活动叠加的地方。在一条断裂中局部微张开的部位，也是矿化的有利部位，如正断层倾角由缓变陡处，逆断层由陡变缓处。这些地方处于相对低压环境，矿液易于在此集中。不同的断裂性质往往形成不同的物理化学环境，直接影响成矿作用。通常压性断裂易于形成相对封闭系统，形成还原环境。而张性断裂则易于形成相对开放系统，形成氧化环境。

围岩性质不同也是影响矿化的局部富集的重要因素。渗透率高、化学性质活泼的围岩往往是有利的矿化部位。当有利岩层之上再有不透水层作为上覆隔挡层时，更有利于矿液的聚

集，这对油气及金属矿床的形成极为重要。冯景兰教授于60年代初，曾强调指出"圈闭构造"在成矿中的重要意义。

综上所述，断裂活动和成矿活动是物质运动的统一过程，构造应力是矿液的驱动力，某些断裂构造控制着成矿物质的时空分布，深入研究控矿的断裂构造，对预测找矿有十分重要的意义。

（二）褶皱构造对成矿的控制

1. 概 述

褶皱构造是另一种常见的构造型式。各种层状岩石，受力后形成不同形态、产状、规模的褶曲，从单斜构造到复杂的背向斜褶皱构造等，常常背向斜相间成群，或不同级别期次重叠出现。由于褶皱各部分受力状态不同，其伴生和派生构造（包括断层、节理、劈理等）也复杂多样。主要褶皱轴线方向，往往反映了一个地区的主要构造线方向，与之垂直者即为主要应力方向。由于被褶皱的岩石，物理机械性质不同，受力的强度不同，可能形成简单的弯褶曲、塑性变形厉害的流褶曲、或与一系列劈理有关的剪褶曲。

各种褶皱构造对内外生矿床都有明显的控制作用，首先要查明褶皱与矿化的时间关系。成矿前和成矿过程中的褶皱及其有关的伴生构造，可以成为内生及外生矿床的有利的成矿空间。如背斜轴部，特别是有不透水层作隔挡层的轴部，往往是油气和各种内生矿床的聚集场所。成矿后的褶皱对各种内外生矿床往往起改造作用。

特别对一些层状矿体，褶皱之后在褶皱的不同部位，矿层的产状、厚度均可产生变化。有些矿床（如盐和煤等）的矿体在褶皱过程中可以产生流动，先成矿体可能发生明显的改造。有时在褶皱过程中，可能伴随变质作用，而使矿化局部变富或变贫。褶皱中受控矿床的产状和形态，往往随褶皱的产状、形态和不同构造部位而变化。所以深入研究褶皱构造，对预测找矿有重要的意义。

褶皱构造对内生矿化的控制，首先是控制了与矿化有关的岩浆活动。从我国已知生产矿山资料统计，85%以上的有色和稀有金属矿化，与中酸性小侵入体有关，而这些中酸性小侵入体常常受背斜轴部及断裂的控制，如鄂东的Fe-Cu矿床、云南个旧的锡矿等。

褶皱对外生矿床的控制，首先是控制了沉积盆地的形成。每个盆地的特点与大地构造背景有关，如地台区的盆地多宽阔而平缓。地槽区及活化区则相反。后期褶皱构造，可以对矿层产状和厚度产生较大的改造，在背斜的轴部或向斜槽部使矿层加厚或变富。

2. 褶皱构造中有利的成矿部位

在背斜和向斜两类常见褶皱中，对内生和外生矿床而言，背斜较向斜有利，往往在鞍部形成鞍状矿体（图1-10）。与背斜同时存在的往往有一套伴生构造，当被褶皱岩层不均一时，在轴部产生"剥离"，两翼产生层间破碎，为矿液的充填交代提供了有利的空间。在轴部常有配套的断裂产生，这与褶皱时应力分布有关。如在个旧锡矿区，在轴部主要是伴生断裂裂隙控矿，矿体多呈脉状或细脉状；而翼

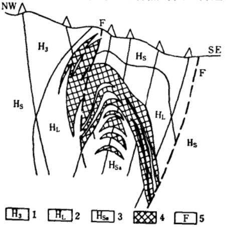


图1-10 某铁矿床鞍状矿体剖面图
（据陈国达，1978）
1—炭质板岩，2—泥质白云岩；3—紫红色矿岩与板岩互层，4—铁矿体，5—断层

部主要为层间滑动和层间破碎带控矿，矿化面积大而连续性较差；在倾伏端为剥离构造控矿，矿体■以呈多层次的扁豆体产出（图1-11）。

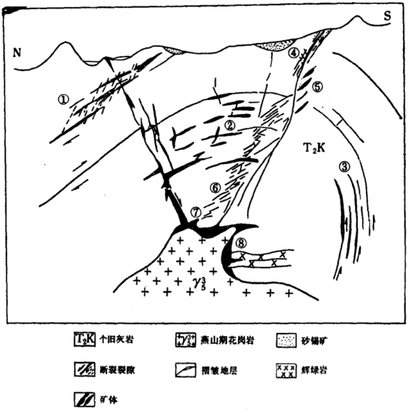


图1-11 个旧矿区控矿构造模式图

（据唐尚涛，1985）

①—马拉格式；②—湾子街式；③—松树脚式；④—尹家洞式；

⑤—老阴山式；⑥—13号式；⑦—5号式；⑧—新山式

就背斜而言，有利的内生成矿部位是：

（1）背斜的轴部（包括穹窿构造的轴部）；

（2）倾斜背斜的倾伏端，背斜轴线沿走向弯曲转折处；

（3）倒转背斜的翼部；

（4）与背斜伴生的断裂和破碎带；

（5）开阔向斜中次一级背斜；

（6）背斜与其它有利构造的岩层交汇处。

向斜构造由于在构造变形时所处位置较深，所受围压较大，伴生构造不及背斜发育，不易形成圈闭构造，因此对内生矿床控制作用相对较差。近年来有人指出，不少铁矿往往产于向斜构造中。成矿后的向斜构造，往往对矿层起加厚和得以保存的良好作用。

3. *褶皱控矿的机制*

综上所述，不难看出，内生矿化富集部位是应力集中的部位。由于背斜轴和倾伏端等部位应力集中，应变强度大，并有多种伴生构造产生，故易为矿液的集中提供有利的条件。通

常在背斜轴部，围压小、且有多种伴生断裂裂隙产生，最常见的是一组横张裂隙和纵张裂隙，另有一组斜向"X"型剪裂隙，进一步发展可以形成断裂。当褶皱的岩层岩性不均一时，易产生层间滑动和呈羽状的张性和扭性裂隙，矿液向压强低、伴生裂隙多的地方集中。当矿液从下向上运移时，无疑向背斜轴部集中，而遇到向斜时则向两翼分散。当在背斜轴部有不透水层作为隔挡层时，更易于矿液的聚积，如湖南锑矿，往往在页岩层之下集中成矿。另一方面，褶皱的不同部位，受力情况不同，各部分的物理化学环境也不同，联系到元素的地球化学性质，有人推论，在受力过程中，离子半径大的元素向拉伸带运移，而半径小的则向挤压带集中。这就导致化学性质不同的元素在褶皱过程中，有不同的迁移富集规律。

褶皱构造对早先形成的矿层的改造，也与各部分所受应力状态不同有关，如盐类和煤等易于塑变的矿层，往往造成厚薄的变化，在背斜的轴部和向斜的槽部（以前者为主）高度集中，矿层增厚而形成局部厚矿段或矿柱。

（三）裂隙构造对成矿的控制

各种节理和劈理，属于小型构造，它们常和断裂褶皱等紧密相伴生。节理与劈理是不同岩性的不同形变，节理常见于脆性岩石，而劈理常见于塑性岩石中。节理裂隙分布很广，对各种脉状矿床的控制尤为重要，有时构成裂隙带控制了矿化的空间分布和矿石的结构构造等，如我国赣南部分钨矿即是受节理裂隙控制（图1-12）。

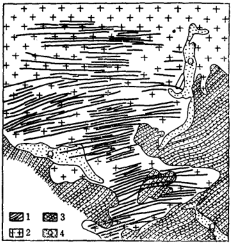


图1-12 江西西华山钨矿地质略图

（据袁见齐等，1979）

1—含钨石英脉；2—黑云母花岗岩；3—砂岩、千枚岩；4—砂砾

节理是重要的容矿构造，它们在一个地区往往有一定的方向性，成群成组地作为断裂和褶皱配套的伴生构造出现。研究节理的性质、产状、含矿性以及和断裂、褶皱的关系，进行应力场的恢复和力学性质的分析，从而可以指导对矿床的预测。因此大量统计分析节理的性质、产状、发育程度、频率及与矿化的时空关系，有重要意义。

我国华南诸省的脉型黑钨矿床，主要受张剪复合型节理控制，剪切节理次之，二者均可成矿。可以延深很大，张性节理一般延伸较浅，故不及前者重要。几条节理或不同性质的节理的归并复合，可以形成从细脉到大脉型的矿体，如粤北一些钨矿（如图1-13）便是其例。多组节理的不同组合，也可以形成不同形态的矿体，如交错网脉带或大致平行的细脉带等。节理发育强度和特点与力学性质和所在岩层的物理机械性质等有关。

（四）火成岩体构造对成矿的控制

火成岩体构造，主要指与岩浆活动有关的各种构造，包括侵入体构造和火山构造两种主要形式。

1．侵入体构造及其对有关矿化的控制

侵入体的原生构造和接触带构造往往是各类内生矿化的重要控矿构造。一个区域内岩浆活动往往受区域主要断裂和褶皱的控制，如沿深断裂带形成岩浆杂岩带，沿复背斜的轴部形成岩浆侵入杂岩等。构造的多期活动也导致多期的岩浆活动，处于构造的复合部位常形成复

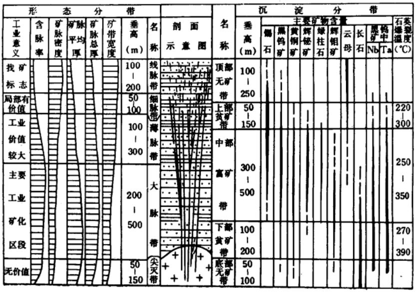


图1-13 石英脉型钨矿床垂直分带示意图

（据古菊云，1981）

式岩体。

侵入体各种原生构造，主要指在侵入过程中产生的构造，包括原生流动构造和原生裂隙构造。在基性超基性岩中的岩浆矿床，矿体往往受流动构造所控制，分析流动构造可以预测矿体的产状。原生流动构造表现为线状和柱状矿物的定向排列，围岩捕虏体的定向排列等。由于原生流动构造的产状受岩体形态和接触带产状的影响，所以，分析流动构造还可以判明岩浆侵入的方向，并可以为有关矿体的深部预测指明方向。

各种原生节理的形成，与未冷凝的岩浆活动有关，其主要见于侵入体的边部，局部可以延伸进入围岩。各种原生节理裂隙，可以成为含矿构造，特别是发育在岩体顶部的各类脉状矿化和细脉浸染型矿化最为典型。

侵入体接触带构造是各类接触交代和热液矿床有利的成矿构造部位，这些矿床都在不同程度上受接触带构造的控制。矿化与接触带形态、产状有密切的联系，矿化多集中在岩浆运动的前缘或其侧旁。接触带有利的成矿部位包括：侵入体凸出部位（该处岩浆分异气液集中）、凹入部位。岩体超覆于围岩之上部位、接触带与围岩非整合面交汇地段等。在岩体侵入过程中，在岩浆热力和机械双重作用下，可以形成热液变褶皱，这是一种热动力变质构造，它发育在岩体四周，对接触带形态和矿体产状起控制作用。大冶铁矿是这一控矿构造的典型实例。总之接触带产状复杂多变，加上围岩性质的有利配合，则往往是矿化的有利部位。

2．火山构造对成矿的控制

近几年来火山岩与成矿的关系引起了国内外普遍的重视。我国也找到一批与火山活动有关的重要金属和非金属矿床，如白银厂早古生代的与细碧角斑岩有关的含铜黄铁矿型铜矿，长江中下游的玢岩铁矿和斑岩铜矿，云南的铁铜矿以及浙江的萤石和明矾石矿床等。

火山岩往往沿着区域性主要断裂带成群分布。火山活动中心是火山构造的主要组成部分，它既是矿液的通道又是良好的储矿场所。火山颈和近火山口的构造隆起往往是火山-岩

浆矿床的良好成矿部位。火山-喷发沉积矿床经常围绕火山口向四周分布；火山喷发后期气成热液矿床，除了受火山口控制外，还受破火山口周围的环状或放射状断裂控制；此外，在远离火山活动中心的大面积火山岩地区，一些火山热液矿床往往围绕次火山岩体分布。因此查明火山活动特点、恢复火山机构，对指导找矿有重要意义。

（五）构造界面对成矿的控制

近年来愈来愈多的资料表明，不同性质的构造界面对成矿起重要的控制作用。区域上不同构造性质和不同地质发展史的地体交接带，往往是岩浆活动和各种内生矿化集中的地方，这些地方各种构造，特别是断裂构造极为发育。上述侵入体接触带，在某种意义上讲也是构造界面。我国德兴铅锌矿就是受前震旦纪变质岩系和白垩纪火山岩系不整合面及裂隙控制的。70年代发现的澳大利亚东阿里格特铀矿带、加拿大阿萨巴斯卡铀矿带，都跟不整合面有关，被称为不整合-脉型铀矿。一些沉积和沉积改造矿床（包括层控矿床）多与不整合面有关，不仅有构造上的意义，而且有岩相古地理方面的意义。像密西西比型层控铅锌矿床，成因上与古剥蚀面有关，分布于不整合面上下。这一认识在指导该类矿床预测中起重要作用。

具体一个矿床或矿体，则不同岩性的界面（包括不同物理性质和不同化学性质的岩层的界面），对矿体局部富集起重要作用。在构造应力作用下，在界面上下首先产生各种不同的形变。如不同物理性质岩石交互成层时，在褶皱的鞍部易产生鞍状剥离和裂隙，为矿液活动提供容矿空间，决定了矿化的有利部位和矿体的产状、形态。当脆性、柔性和负荷性岩层互层时，易形成不同的有利成矿的构造部位，其主要是沿界面剥离，在褶皱的轴部形成鞍状矿体。负荷性岩层（如石灰岩）在褶皱时产生的裂隙可以立即愈合。它的存在是褶皱轴部形成鞍状矿体的重要原因之一。不同化学性质的岩层的界面，对矿液的选择交代、对矿液化学性质和活动能力的改变都起重要作用，从而导致矿化的局部富集。

第二节　岩浆活动因素分析

一、概　述

岩浆活动是地壳运动的主要形式之一。许多内生矿床的形成和分布都不同程度的受岩浆活动因素所控制。从矿化与岩浆活动的固有联系出发，分析各种岩浆活动对矿床的控制，分析各种岩浆产物的含矿性，可以指导矿床预测和指明找矿远景。

各类岩浆活动对成矿的控制，主要表现在以下几方面：

(1) 各类岩浆活动是成矿物质运移分配的重要因素。岩浆作用之后往往伴随各种成矿作用，一系列内生矿床是岩浆作用某一阶段的产物。

(2) 一定类型的矿化与一定成分的岩浆岩有关，二者存在岩石学、岩石化学和地球化学方面的内在联系，即所谓岩浆成矿专属性。这在矿床的预测评价中具有重要理论和实际意义。

(3) 在空间上，不同类型的矿化产于不同岩浆活动产物的特定部位。各种矿床围绕中酸性岩体呈带状分布的规律是区域预测和局部预测的重要地质依据。

(4) 在时间上不同类型矿化富集在岩浆活动的不同旋回和阶段。晚期岩浆活动可以对早期生成的矿床进行不同程度的叠加改造或破坏。

(5) 一定类型的矿床与一定产出状态（侵入、喷出）、形成深度和冷凝深度的岩浆活动产物有关，即矿化与岩浆活动存在着物理化学条件和地质条件的一致性。

各类岩浆活动与矿化的关系的分析，是极为复杂的地质问题，涉及岩浆成因、活动机制、演化进程、地球内部结构和成矿物质来源等基本问题的认识，而这些问题有的是带假设性的，有的还是长期争论没有解决的问题。在矿床预测评价中，对岩浆活动因素上一般要着重进行以下五个方面的分析：

1. 岩体与矿化在空间上的联系

就矿床与岩浆岩体的空间关系而言，可以分为三类（图1-14）：

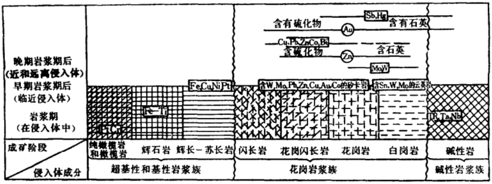


图1-14 各岩浆岩与金属矿床的关系

（据B.И.斯米尔诺夫，1957）

（1）产于岩浆岩体内部的矿床 包括大多数与超基性岩有关的Cr、Pt、Cu、Ni、Ti、Fe、V等岩浆矿床；碱性岩中的Nb、Ta、Zr、TR矿床；一部分中基性火山岩中Fe、Cu矿床，矿化与岩浆岩体联系十分密切。

（2）产于中酸性岩体与围岩接触带及其附近的矿床 包括各类伟晶岩矿床、接触交代矿床、各类热液矿床。这些矿床分布在岩体接触带附近的构造或岩性有利部位，矿种繁多，如Fe、Cu、Pb、Zn、Sn、W、Li、Be等金属和稀有金属矿床；矿化往往与晚期的小侵入体有关。

（3）远离侵入体的中低温热液矿床 与岩浆活动无直接联系，主要受有利的构造和岩性控制，近年来有人认为这类矿床大部分应受层位控制而不是岩浆控制的。

此外，围绕中酸性岩体，矿床呈带状分布，矿床与岩体的不同产状、形态和被剥蚀深度等有关，这将在以后叙述。

2. 岩浆活动与矿化在时间上的联系

各类岩浆活动常是多期次多旋回活动的，大的岩浆活动往往与大的地壳运动有关。不同时代的岩浆活动，其含矿性、成矿专属性也是不同的，从而可以划分出不同成矿期。总的来讲，我国前震旦纪的岩浆岩体经历了多次变质改造，其主要矿化是与火山作用有关的Fe、Cu矿床、Au矿床和部分伟晶岩矿床，它们发育在长期隆起的地盾老基底中；古生代的岩浆活动及其有关的Cr、Ni、Cu、Pb、Zn矿化，主要在我国西北部和北部地区；中生代以后大量的中酸性岩浆活动、主要分布在我国东部，尤其我国东南沿海滨太平洋带广大地区，形成大量的有色、稀有金属矿床。新生代仅见Au、Cu、Sn、U等矿化，其集中分布在西南和东南沿海地区。

同期矿化的不同阶段，其富集成矿元素也有不同，如我国华南地区燕山期，早阶段为

W、Sn、Be、Mo、Ta成矿为主，而到晚期阶段则W变少，而Sn、Be、Nb、Ta、U、Pb、Zn等更为重要。

2. 岩浆成矿专属性的研究

一定类型的岩浆建造形成一定类型的矿床，这反映了各种成矿元素在一个地区发展历史中，从岩浆的发生到成矿元素析出的成矿活动的总过程。岩浆和矿化二者存在岩石学和地球化学的内在联系。专属性研究首先是岩浆岩成分和地球化学特征的研究，对不同岩浆岩类型，其成矿专属性不同。基性超基性岩有关的Cr、Pt、Cu、Ni、V、Ti、Fe、石等成矿专属性较强；碱性岩中则是Nb、Ta、Zr、TR及磷灰石等矿化；各种中酸性岩的W、Sn、Li、Be、U、Th等专属性变化较大，而对Fe、Cu、Pb、Zn等矿化变化更大，域性特征更明显，后面将详细论述（各种岩浆岩与金属矿床的关系见图1-15）。

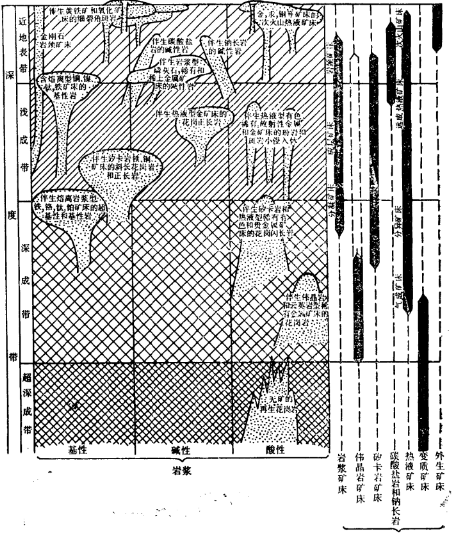


图1-15　火成岩建造与矿床成因类型按生成深度的分布

（据B.И.斯米尔诺夫，1976）

4. 岩浆活动的物理化学条件分析

岩浆活动的物理化学条件，与一定的地质构造背景相联系。岩浆岩体的形态、大小、形成深度、侵位和冷凝深度、分异程度、内部构造和接触带构造等，它们对指出有利矿化部位都极为重要。大岩体的底部及边部构造的有利部位则有利于岩浆分异和矿质的聚积，而各类接触交代气液矿化，则集中在岩浆侵入的前缘地带、岩体的顶盖和凹陷部位以及岩体向围岩超复的部位。与次火山岩有关的热液矿床，在相对封闭条件下挥发分易于聚积，各种角砾岩带是成矿有利构造部位。

岩浆的形成深度和侵位冷凝深度不同，其物理化学环境也不同，这对岩浆分异、矿质的析出聚集起重要作用。B.И.斯米尔诺夫按岩浆形成侵位深度分为四个带，即① 超深带：莫氏面向上距地表10～15km（大洋5～8km），此带矿质少，只有少数超变质矿床（蓝晶石、夕线石、刚玉等）；② 深带：距地表3～5km至10～15km，此带成分均一，地槽早期基性超基性岩中部分Fe、Cr、Ti、Pt岩浆分异矿床、中酸性岩中部分云英岩和矽卡岩矿床产于此带，其矿石成分简单。③ 半深带：深度在1～1.5km至3.5km，此带岩浆成分复杂，各种蚀变交代作用发育。地台区基性岩中Cu-Ni硫化矿床、Ti-Fe熔离矿床、地槽早期的斜长花岗岩、正长岩中伴生的矽卡岩Fe-Cu矿床、晚期小侵入体各类热液矿化产于此带。此外，还包括了地台区的花岗正长岩有关的Au热液矿化，部分与玢岩和斑岩有关的矿床。④ 近地表带：深度1～1.5km。碱性岩中稀有碳酸盐岩矿床、地槽早期细碧角斑岩有关的Pb-Cu黄铁矿型矿化、地槽晚期和地台基性和酸性喷出岩中的Au、Ag、Hg、Cu等火山热液矿床产于此带，此外，还有地台区金伯利岩中金刚石矿床等（图1-15）。

成岩成矿试验的广泛开展，对各类岩浆活动和有关矿床形成的物理化学条件将不断增加新的认识，这方面的研究目前正在不断取得新的进展。

5. 岩浆活动与矿化的成因联系

通过上述几方面的分析，可以进一步对岩浆和矿化的成因联系作出判断，从而确定预测评价的岩浆活动的准则。

总结上述，岩浆活动与内生成矿存在多方面的联系。全面研究这些联系，并同地壳发展历史和地质构造环境结合起来分析，对深入掌握岩浆活动控矿规律有重要意义。

二、基性、超基性岩对有关矿化的控制

基性岩是占地球面积60％的洋壳的重要组成部分。上地幔基本上相当于超基性岩物质组成。基性和超基性岩是组成地球岩石重要的两种岩石。在大陆上以小侵入体和层状杂岩体沿构造带分布，与其有关的矿床主要有Cr、Ni、Cu、Co、Pt、V、Ti等金属矿床以及金刚石、石棉、滑石、冰洲石等非金属矿床，与碱性超基性岩有关的有Nb、Ta、Ce族稀土、磷灰石和金云母矿床等。

（一）基性、超基性岩的成矿特点

基性超基性岩及其有关矿化具有如下特点，在预测时应予注意：

（1）与基性超基性岩有关的矿化，多数是岩浆矿床（包括早期岩浆矿床和晚期岩浆矿床及熔离矿床和部分热液矿床），成岩成矿有一致性。成矿作用与成岩过程中岩浆分异有关（结晶分异和重力分异），矿床与岩体时空关系密切，多在岩体内部或其附近，且大岩体有利于分异成矿。成矿规律的研究首先是基性超基性岩带的分布规律和矿化在岩体中局部富集

规律研究。故在预测时首先是找岩带，继后是在岩带中找出最有利于成矿的岩体，进行岩体含矿性评价。

（2）成矿专属性明显，应深入进行岩石类型划分，矿床往往在某一特定相带中，矿石成分与含矿岩浆成分具有一定的依从关系。如具工业价值的铬铁矿矿床和铂金矿床多与镁质超基性岩特别是其中的纯橄榄岩、斜辉橄榄岩有关。铜镍（钴）硫化物矿床、铂钯硫砷化物矿床则产于铁质超基性岩和基性岩中。

（3）从成矿物质来源看，这些矿床多为壳下源，故在预测评价时，应注意有深切上地幔的断裂和地壳薄的地方，该处是地幔物质可能上升到地表的有利部位。一般认为基性超基性岩的母岩浆来自上地幔，由上地幔部分熔融分异而成，由于不同的熔融深度和物理化学环境，形成各种不同的基性超基性岩及其有关的矿床。

（4）含矿岩浆和有关矿床的产出，往往与地质构造发展一定阶段相联系，分布于一定构造单元中。基性超基性岩带的产出，主要分布于地壳的活动带，如板块边缘活动带、深断裂带等。

以板块构造的观点，可以将基性超基性岩分为三类：即岛弧型（如西太平洋带）、地缝合线型（如古地中海带、乌拉尔带等）和裂谷型（如非洲及欧洲一些层状铬铁矿带）。我国西北大量基性超基性岩体多属地缝合线型，如祁连山近500个岩体主要分布在沉降区和隆起区的边缘带，即优地槽的边缘深断裂带和稳定地块的边缘深断裂带中。

（5）基性超基性岩的含矿性与岩体产出状态关系密切，不同产出状态的岩体决定了不同的岩相组合，在很大程度上决定了分异程度及其含矿性。按照其产状可以分为两大类，即层状侵入体和阿尔卑斯型侵入体，不同的产状影响母岩浆的演化分异，从而造成不同的岩相组合，如世界上有名的南非布什维尔德岩盆、美国斯蒂勒沃特岩床，津巴布韦大岩墙和加拿大马斯考克岩体，四者的化学成分均与拉斑玄武岩相类似，但由于形态不同而造成不同的岩石组合和不同的含矿性，其中以层状侵入体对岩浆分异和矿化最为有利。L.R.瓦格根据多年研究结果，提出了淀积岩的概念，认为成层的基性超基性岩的成岩成矿是熔浆进入岩浆房缓慢冷凝的结果。可以布什维尔德岩盆为例，其规模很大，属于层状拉斑玄武岩建造古铜辉石岩—苏长岩亚建造，以成层有韵律为特征。下部是超基性岩带，铬铁矿层产于其中，其顶部有含铂及硫化物的麦仁斯岩层。再向上为基性岩（苏长岩、辉长岩层），其中夹有层状钒钛磁铁矿。三个不同的岩带产有三种不同的层状矿化，而且还伴有晚期穿切层理的脉状矿化。脉状矿化的根部都未超越其所属的岩段，这充分反映了岩浆分异演化与矿化的密切联系。而阿尔卑斯型含矿岩体，一般岩体规模小，岩相变化复杂，矿化亦极为复杂。

（二）基性、超基性岩带的分布规律

基性超基性岩浆从上地幔侵入到地壳，主要是受地壳一定构造机制的控制。按照板块构造观点，两个板块交接带，是地壳最活动的部分，也正是上地幔物质熔化、分异上升的地方。世界上主要的基性超基性岩可以分为四个带：

（1）环太平洋带（岛弧型） 分布在亚美大陆的边缘岛弧地区，南起新西兰经新喀里多尼亚，巴布亚新几内亚、菲律宾吕宋岛、我国台湾、日本、堪察加半岛，转至阿拉斯加延伸到中美洲，环绕太平洋带分布。

（2）古地中海带（地缝合线型） 从南欧的南斯拉夫，经土耳其、伊朗、阿富汗到南亚的巴基斯坦和印度，进入我国西藏、折向南到缅甸，延续到马来半岛和苏门达腊，形成横亘欧亚的阿尔卑斯褶皱带，其受古地中海地缝合线控制。

（3）苏联乌拉尔带 基性超基性受古地缝合线控制。

（4）非洲及欧洲纵贯南北的前寒武纪层状铬铁矿带 是受裂谷控制的基性超基性带，从南非的布什维尔德向北到津巴布韦、苏丹、埃及、直到苏联的乌克兰、芬兰北部，其占世界铬铁矿总储量的81%，世界性的几个大矿都产在这个带中。

我国的基性超基性岩分布规律，受特定的地质条件所控制。具有如下的特点：

（1）从前寒武纪老褶皱区到古生代以来各地槽褶皱区均有分布，产在前寒武纪老褶皱区的岩体侵位于变质基底为主，而盖层较少。空间分布上多见于我国的东部地区，并以地槽型建造为主，其与一套海底火山岩系共生为其特点。主要形成在地槽发展的下沉阶段。而地台型建造较少，侵位不固定，岩性上多偏于酸性，以缺少火山岩建造为其特点。

古生代以后各地槽褶皱带的基性和超基性岩带，以我国西部为主，东部亦有少量分布。似有随时代变新、岩体侵位向后推移的趋势，即从加里东到阿尔卑斯期超基性岩由地槽早期逐步过渡到地槽中期侵入。

（2）基性超基性岩带（区）在区域构造中多产于地槽褶皱带的次一级构造中。其中以复背斜为主，复向斜、中间隆起和边缘地带次之。但复向斜中的岩体规模大，含矿性较好，如内蒙古超基性岩带产于华里西地槽褶皱带两个次级构造中，北带产于哲斯-乌兰浩特复向斜中，岩体规模大，已知铬铁矿均产于该带。而南带产于复背斜中，岩体规模小，含矿性较差。这种情况与乌拉尔亦有相似之处。

（3）深断裂控制了岩带（区）的具体空间分布，同时也控制了岩体产状、形状和规模等。我国已知51个岩带（区），至少有30个岩带（区）与深断裂有关，表现为岩带沿深断裂延伸呈线状分布，岩体多产于断裂上盘一侧，下盘很少。深断裂的产状决定了岩带的产状、延伸和复杂程度，同时与断裂构造不同部位力学性质也有关系。

（4）我国基性超基性岩在时间上的分布，从太古代到第三纪均有产出。其中主要形成在华里西期和阿尔卑斯期，铬铁矿也主要形成在这两个时期。前寒武纪的岩带（区），主要分布于我国东部，包括五台、太行、桂北、梵净山、黄陵、两陨、随枣、康滇地轴、燕山、大别、辽东等地；加里东期主要在北祁连山、拉脊山等地；华里西期的岩带主要分布在我国西部，包括天山、阿尔金山及大小兴安岭一带；印支期主要在川滇一带，燕山期主要分布于康藏和闽粤赣一带；而最晚的喜山期仅见于台湾的东部。

（5）各种超基性和基性杂岩及其有关矿化，主要见于各个时代的地槽褶皱区。基性岩体在地槽和地台区均有，但含矿基性岩体多在地台区（钒钛磁铁矿和铜镍矿床）而地槽区的则很少含矿。各种基性超基性岩类和各种中酸性岩类（主要是花岗岩类）在空间上出露有互为消长的关系，可以作为对岩带评价的区域标志。二者形成在地槽发展演化的不同阶段，基性超基性岩类主要出现在地槽发育的初期下沉阶段，而花岗岩类则主要在褶皱造山期阶段，每一个岩浆活动旋回往往以基性超基性为先导，以花岗岩浆侵入而告终。这种规律也见于国外许多地槽褶皱带。

（6）我国超基性岩的岩浆建造类型，可以分为三类：即镁质超基性岩（m/f为6.5或7以上）、铁质超基性岩（m/f6.5或7以下）和碱性超基性岩。三者在空间分布和时间演化上亦有一定的规律性，空间分布上镁质超基性岩主要分布于地槽褶皱区，而铁质超基性岩主要分布在地台区，少数在地槽区，碱性超基性岩很少，仅见于扬子准地台的北缘，这可能与控岩的断裂下切深度有关。它们反映了不同深度的物质来源。在时间上前寒武纪的岩体多为铁质建造，而古生代和中生代的岩体多为镁质超基性岩建造。

（三）受基性、超基性岩控制的矿床形成的若干规律

现就重要的几种矿床分别述及于下：

1．铬铁矿矿床

与超基性岩有关的铬铁矿矿床，按其产状可以分为层状和非层状两类，前者规模大，至今在我国尚未发现。非层状的铬铁矿分布较广。

层状铬铁矿主要产于前寒武纪的地台区，而成岩成矿于地台期前的地槽阶段，如著名的非洲布什维尔德杂岩体，侵入于元古界德兰士瓦系中，同位素年龄为1900～2000Ma。层状含铬杂岩往往具有水平产状和分异良好的特征，常与围岩整合产出，并可与围岩发生同褶皱现象，如布什维尔德层状杂岩、格陵兰西部菲斯克纳塞特层状杂岩和印度奥里萨层状杂岩体所含铬铁矿体都很典型。

岩体形态多为岩盆状，矿床产于分异好的底部超基性岩带。向上可以过渡为基性岩及其含铂的钒钛磁铁矿等。成岩成矿时代较老，多在前寒武纪（早元古代为主），成矿特点说明岩浆侵入于稳定的地质环境，经分异淀积而成。几乎全部分布于古老地台和地盾区，如非洲地台、南北美洲地台以及乌克兰地盾等。

我国已发现的铬铁矿，均为非层状型铬铁矿。该类矿床又可以分为地槽型和地台型两种。地槽型铬铁矿，产出于各个时代的地槽褶皱带中，含矿岩体岩石矿物组合属橄榄石-斜方辉石系列，属镁质超基性岩；而地台型主要产于前寒武纪的古隆起中，与地槽型相比，本类型的含矿母岩为橄榄石-透辉石系列。二者均受深断裂控制。我国大多数有价值的铬铁矿，多不是形成于岩浆作用的早期，而是晚期。这是由残余岩浆熔离出来的矿浆而成床，在岩浆液态情况下，可以产生重力分异，也可以此解释层状铬铁矿的成矿特点。

2．铂及铂族矿床

世界上的铂族金属矿床主要集中于南非、苏联和加拿大。主要产于地台区和地盾区，常与铜镍硫化物矿床相伴生，少数以单独含铂岩体产于地槽区。从苏联的西伯利亚和阿尔丹地盾所发现的铂矿化和芬兰斯堪的纳维亚地盾一些铂矿化来看，铂矿与一些基性岩和零星超基性岩体有关。而加拿大中央地块南缘肖德贝里岩盘以苏长岩为主，上部过渡为酸性的花岗斑岩，铜镍硫化物和铂富集在岩体的下部和边部。南非布什维尔德岩体，铂矿富集在上部基性岩成分的麦仁斯岩层中。苏联也有产在地槽区的铂矿床，主要与辉长岩—单斜辉石岩有关。

我国的铂矿床主要产在铜镍硫化矿床中（该类矿床以Cu、Ni为主，有的以Pt、Pd为主），与铬铁矿共生则为Os、Ir的矿化。在单斜辉石岩中可以形成单独的铂矿床，如燕山地区角闪辉石岩中普遍存在铂矿化。

我国的铂矿主要分布于中朝地台的内蒙地轴与燕山沉降带交接处、阿拉善地块南缘、康滇地轴和喜马拉雅地槽褶皱带。产于地槽褶皱带的铂矿多与铬铁矿床共生。产于地台区的多为与铜镍共生。

3．铜镍硫化物矿床

我国已知20多个不同规模的铜镍矿床，产出的大地构造位置为前寒武纪地台区和地槽褶皱带的隆起带。形成时代以华里西期最为重要。

含铜镍的基性超基性杂岩体，超基性岩往往含有一定数量的斜长石为特征。从超基性岩到基性岩各种过渡类型为含矿母岩，其中以含长二辉橄榄岩-辉石岩和含长斜辉橄榄岩-含长斜辉辉石岩-苏长辉长岩杂岩最为重要，含矿岩体的岩石化学特征表明，镁铁比值大多数在7以下，很少在7以上。大多数属铁质超基性岩，少数属镁质超基性岩，此与含铬岩体大不相同。

4. 钒钛磁铁矿矿床

与基性和超基性杂岩有关的钒钛磁铁矿，一般含铁较低，伴生有多种金属和非金属元素，包括V、Ti、Cu、Co、Ni、Cr、Pt、Ga、Se、Te、P、S等，有的还含TR、U、Th，一般矿床规模较大。世界主要大矿多产在地台和地盾区，少数产在不同构造单元过渡带和地槽中的隆起带。岩石类型以层状拉斑玄武岩质建造为主，一般为橄榄岩-辉石苏长岩建造，也有产于辉长岩-辉石岩-纯橄榄岩建造或斜长岩-辉长岩建造中。矿体主要赋存于辉长岩、苏长岩、斜长岩偏上部的基性岩中。矿体形态为层状、似层状或脉状，前两者贫铁、而规模巨大，后者富铁而规模较小。苏联哈萨克斯坦土尔盖、乌克兰、波罗的地盾、南非的布尔什维德、美国的阿拉斯加、纽约州的西部、科罗拉多、加拿大的魁北克、安大略、澳大利亚、印度等都有重要的钒钛磁铁矿产地。

我国的钒钛磁铁矿矿床，毫无例外的产于前寒武纪老褶皱区，尤其集中分布在康滇地轴，含矿岩体以地台型为主。成矿时代包括元古代和华里西期，以华里西早期最为重要。含矿岩体以辉长岩类和超基性杂岩为主，岩石成分较之含铬和铜镍岩体更趋于酸性。镁铁比值均在7以下，属铁质建造的玄武岩浆成因。岩体形态均为层状和似层状。岩体发育韵律层对矿化有利。西昌攀枝花是世界少见的大型钒钛磁铁矿产地。

随着研究工作的不断深入，在各种变质区发现了大量的Au、Cu、Ni、Fe等矿化与变质的绿岩带和基性超基性火山岩有关，以后应加强这方面的研究。

三、中酸性岩类及其有关矿化

中酸性岩浆岩在地壳中分布极广，是组成地壳硅铝层的主要岩石。我国花岗岩出露面积近$85\times10^4 km^2$，约占我国面积的9%。中酸性岩有关的矿床种类繁多，从有色、稀有、黑色金属到非金属矿床等不下数十种，矿床类型也多种多样。中酸性岩的成矿专属性随岩石类型、形成时代和区域分布的不同而变化。矿化与岩体在空间联系上也极为复杂，从岩体的接触带附近，到远离接触带均有矿化。总之中酸性岩与各类矿化的联系是极其复杂的，为此要进行成矿预测，不得不从中酸岩浆活动的一般规律出发，来分析其与矿化的联系。

（一）中酸性岩浆岩成分的研究

岩浆岩成分与其专属的矿石组分间具有一定的关系。对岩浆岩成分研究主要从以下几个方面进行：

（1）矿物组成的研究 这是最基本的研究，是正确划分岩石类型的基础。其主要是研究矿物的各种标型特征，这可为分析岩浆活动的各种物理化学条件提供可靠的资料。

（2）岩石化学成分研究 我国从50年代开始，对岩石化学分析主要是注意了SiO_2、Al_2O_3等与岩浆酸度有关的研究。从我国东部花岗岩类研究结果表明，中酸性岩的酸度变化，控制了矿化种类。随着酸度的增加，依次为石英闪长岩—花岗闪长岩—斜长花岗岩—黑云母花岗岩—白岗岩。专属的相应矿产是Fe—Cu—Mo—W—Sn。随着岩浆岩酸度变化，存在一定的成矿专属性序列（图1-16）。

近几年来注意了岩浆岩碱度的变化及其与矿化的联系，特别是K_2O、Na_2O及其比值的变化，对指示岩体成矿专属性有重要意义。如富Na成铁、富K成铜，在我国成矿预测中发挥了重要作用。碱金属影响到岩浆期后的溶液性质和所含组分，如Be、Nb、Ta与强碱性花岗岩有关，含Sn的花岗岩K远远高于Na，并含大量B，故锡矿中常见有电气石共生，反映

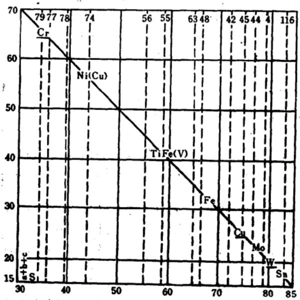


图1-16 钙碱系列岩浆岩成矿专属性示意图

（据闻广，1963）

图示岩浆岩酸度（S）与含矿性的相关变化，a、b、c、s系A.H.扎瓦里茨基值。图中编号系R.A.戴里（1933）岩浆岩平均成分原编号，虚线表示酸度，其中：79—纯橄榄岩，77—斜辉橄榄岩，78—二辉橄榄岩，74—角闪橄榄岩；56—橄榄辉长岩；55—辉长岩；63—石英辉长岩；43—闪长岩；42—石英闪长岩；45—花岗闪长岩；44—石英二长岩；4—花岗岩；116—白岗岩。

了陆源沉积物经花岗岩化的特点。中酸性岩的酸度和碱度，二者变化与其成矿专属性上有一致性。

（3）岩石地球化学特征的研究主要集中在以下几方面的工作：

① 注意挥发分成分的研究，一般岩浆活动的晚期，F、Cl、B、H_2O、CO_2等对促使岩浆分异和矿化有重要作用。如与个旧锡矿有关的花岗岩中含F量，与探明的锡储量呈正相关关系。锡矿好的岩体，含F量一般大于2000ppm，矿较好的老(厂)卡（房）岩体含F达2450～3750ppm。老厂矿最好，含F量高达3750ppm。其次为马(拉格)松（树脚）岩体含F量为2040～2260ppm。矿差的含F量均小于1500ppm。Л.B.塔乌松指出，各种花岗岩的含矿性，与其所含挥发分（首先是H_2O、F）含量高低有极其重要的关系。挥发分可以降低矿液的熔解度和熔融体的结晶温度（200～250℃），熔体的结构也可能受到改造，有可能产生低温熔融体，从而增强其活动性，在较浅成的岩体顶部挥发分聚集，促使Li、Rb、Be、Sn、W、Nb、Ta等元素富集成矿。故挥发分起着促进岩体分异和成矿物质活动聚积的作用。从挥发分的含量多少可以推断岩体的潜在含矿性。

② 成矿元素在岩体中背景含量的研究，可作为评定岩体含矿性的标志之一。如赣南与钨矿有关的花岗岩体含钨量为2.2～212ppm。其高出正常平均含量（1.5ppm）的半倍至140倍，此外含Be、Sn、Pb也都偏高。鄂东与铜矿有关的花岗闪长岩体含铜量普遍高于克拉克值的10倍至100倍。

③ 分析成矿元素及伴生元素在岩体某些造岩矿物中的含量，可作为评价岩体含矿性的标志。如个旧花岗岩体，其黑云母、角闪石、白云母中Sn的含量高低，可以作为其含锡矿的标志。赣、鄂等地斑岩铜矿床中亦有类似现象，黑云母中铜的含量高、挥发分Cl的含量高，矿化就好。如丰山洞岩体的黑云母中含铜90～180ppm，铜厂100～500ppm，朱砂红300ppm，其中Cl的含量高达0.11～0.25%者一般都为矿化岩体，小于0.05%者则为非矿化岩体。

④ 一些矿物标型特征的研究，可作为岩体含矿性的标志，如统计世界77个斑岩铜矿床的斑岩体，发现含矿岩体中金红石含铜达100～1500ppm，非矿岩体中金红石含铜不超过50ppm，而且金红石的晶形在不同蚀变带中呈有规律的变化。磷灰石中含Cu、F、Cl也都比较高。矿物标型特征研究用于进行含矿性评价具有广阔的前景。

⑤ 同位素成分和气液包裹体成分研究，对研究矿床成因和矿质来源等都有重要意义。

（二）不同成因花岗岩类成矿专属性研究

不同成因的花岗岩类有着不同的演化历史和不同的成矿物质来源。按成因不同花岗岩类，大体上可以分为三大类，即深源岩浆分异上侵的花岗岩、大陆壳重熔再生的花岗岩和各种围岩经花岗岩化而成的花岗岩，三者之间还有过渡类型。它们的产状、物质组成、同位素地质特征、形成的地质背景和形成的物理化学条件都很不相同，因而它们的含矿性和成矿专属性也差别很大，在矿产预测评价中，注意划分不同成因的花岗岩，是极为重要的。这已经引起了国内外的广泛重视和深入研究。

一般认为花岗岩化的花岗岩往往富集TR、Th、Zr。重熔再生的花岗岩，对成矿最为有利，往往形成W、Sn、Li、Be、Nb、Ta、U等重要工业矿床。深源岩浆分异的花岗岩则与Fe、Cu等矿化有关。

南京大学地质系徐克勤等（1973）研究了华南花岗岩后指出：花岗岩化的花岗岩分布最广。并认为凡与地幔分熔无直接联系的花岗岩，均属花岗岩化的范畴，包括深熔作用、深层交代、上层交代和再生岩浆等均属这类，即分花岗岩为两大类。两类花岗岩具有不同的地球化学特征和不同的成矿专属性。

徐克勤（1980）将华南花岗岩类划分为三个成因系列：

（1）陆壳改造型花岗岩类　系由地槽或拗陷堆积物经混合岩化或花岗岩化以及与其有成因联系的重熔-再生岩浆作用形成的花岗岩类。以正常花岗岩为主，但也经常出现二长花岗岩、富斜花岗岩、富石英花岗闪长岩、斜长花岗岩和云英闪长岩等。

（2）过渡型地壳同熔型花岗岩类　从地幔来的中基性岩浆侵入到地槽或拗陷堆积物中，由于地热梯度急骤升高，引起了同熔混杂作用及同化作用等形成的花岗岩类。它往往是从中基性演化到酸性的花岗岩，即从闪长岩→石英闪长岩→花岗闪长岩→石英二长岩→钾长花岗岩。这一系列花岗岩类的分布地区一般属过渡型地壳。

（3）幔源型碱质花岗岩系列　岩石学、地球化学及成矿作用，都具有地幔来源的特征，如Na＞K、Nb＞Ta、ΣCe＞ΣY等。福建魁岐岩体等少数花岗岩可能属此类。

上述三种成因系列的花岗岩类，锶的同位素比值（$^{87}Sr/^{86}Sr$）各有明显的不同：第一类大于0.710，第二类为0.705±～0.710±，第三类通常很小，多数小于0.705。

江西省地质研究所刘家远（1978）认为江西存在两类不同成因的花岗质岩石，二者有不同的成矿专属性。一类是源自地壳上部硅铝层重熔和再生作用形成的中酸性—超酸性交代侵入杂岩，称为地壳型花岩类。其活动时间很长，从前震旦直到喜山期。主要分布在江西南半部及南岭东西向隆起带内，九岭东西向构造带亦有零星分布。与其有关的矿化主要是W、Sn、稀有、放射性铀等，成矿元素以亲氧元素为特征。第二类花岗岩源自地壳深部或上地幔的中酸性—弱酸性潜火山杂岩。其主要产于燕山期，浅成—超浅成的侵入岩中，在成因上与这一期的大规模钙碱性安山质火山岩活动有关，属于地幔到地壳过渡型岩浆岩。它主要分布于江西省北半部隆拗交接带或某些巨大的区域断裂附近，与这类过渡型杂岩有关的矿化是Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag等，其以亲硫元素为特征。两类花岗质岩石，其生成深度不同，其专属矿床也有差别。地壳型花岩类深成相有稀有稀土的轻微矿化；中深相侵入花岗岩与W、Sn、稀有、稀土矿化有关；浅成相细晶花岗岩和各种斑岩与Pb、Zn、U、萤石以及少量W、Cu矿化有关；喷出的熔岩、火山碎屑岩与U、TR矿化有关。过渡型潜火山杂岩，浅成相斑岩与Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag、S、Fe、W等矿化有关；次火山岩和隐爆相与

Pb、Zn、Ag、Cu、Mo等矿化有关。

杨超群（1980）根据成岩的物质来源和岩石的形成方式及演化特点，将华南花岗岩类划分为四种成因类型：

（1）壳源重熔型　岩浆演化序列为中粗粒（斑状）黑云母花岗岩→细粒（小、少斑状）黑云母花岗岩→黑云母花岗斑岩→辉绿玢岩脉（如西华山、千里山花岗岩等属之）。有关矿床为W、Sn、Bi、Mo、Be、Nb、Ta、TR（ΣY>ΣCe）；局部还富集Pb、Zn、Sb、As、Fe、U、Cu、Au、Ag、Hg、S等。

（2）混合源（上地幔为主）同熔型　岩浆形成演化序列为辉石岩→二长岩、石英闪长岩→二长花岗岩、花岗闪长岩→花岗闪长（斑）岩、二长花岗斑岩（如广东阳春）。有关矿床为Fe、Cu、Pb、Zn、Mo、W、Au、Ag、S等。

（3）幔源分异型　岩浆演化分为两个序列，一为二长岩、辉长岩→碱性岩（如云南个旧）。另一为斜辉橄榄岩、角闪辉长岩→晶洞富钾碱性花岗岩→正长岩、石英正长岩、正长斑岩（如闽东沿海）。有关矿床为Nb（Ta）、Th（U）、TR（ΣCe>ΣY）、Zr等。

（4）混合源（以陆壳为主）变质-交代型　以变斑黑云母混合二长花岗岩为主，其次是片麻状混合花岗岩和混合花岗闪长岩，有时见混合石英闪长岩（如闽、粤沿海，长乐—南澳变质带）。成矿极少，偶而形成混合花岗岩型稀土矿床（如广东广宁、五和等地）。

国外学者亦很注意这方面的研究，苏联Ю.А.库兹涅佐夫、Х.М.阿布杜拉耶夫等在分析岩浆建造和成矿联系时，都注意到不同成因的花岗岩有不同的成矿专属性。З.В.西多连科（1975）论述了沉积变质和岩浆成因的花岗岩类二者的特点和区别，强调岩浆成因花岗岩的成矿重要性，而交代型即原地沉积变质的花岗岩很少成矿。岩浆成因花岗岩主要分布在褶皱区，寒武纪以后分布较广，与围岩界线清楚，相变明显，U、Li、Be、Nb、Ta、F等元素在顶部集中，副矿物主要有钛铁矿、榍石、磷灰石、褐帘石，且集中分布于接触带，并有分带的特点，与其有关的矿床Ta、Cu、U、Li、Be、W、Sn、Mo等。原地沉积变质的花岗岩类，形成时代较老，多在前寒武纪，与围岩为渐变过渡关系，矿物含量不稳定，稀有元素及矿物分带不明显，未发现大的矿床，只是独居石和锆石可形成砂矿，碱质交代强的有Nb、Ta、Be的工业矿床形成。这一结论与我国华南情况似不尽符合。

苏联学者Л.В.塔乌松（1974）在论述花岗岩类岩浆是内生矿床的矿质来源时，强调了Ю.А.库兹涅佐夫（1969）提出的直接来自地幔的喷气分异的设想，再一次指出矿质来源中岩浆来源的重要性。从不同地区成矿中成矿元素的定量地球化学研究表明，不同花岗岩中各种金属元素浓度差别很小，在许多情况下，与Pb、Zn、Mo、Be、Au等有色、稀有、贵金属矿产有关的花岗岩类中，这些元素只有克拉克值含量，甚至有时含量更低(只有Sn是例外)。他强调了H_2O、F、Cl、CO_2等挥发分在喷气分异和成矿元素富集中的重要作用，它们是硅酸盐熔体的强改造剂。根据花岗岩不同的成因和不同的形成条件，可将花岗质岩石分为三大类，并各自有不同的专属矿产，即大多数花岗岩类是大陆壳物质再生重熔而成；少数分布在活动带由基性或中性岩浆深源分异而成；第三种是大陆壳结晶基底岩石发生超变质花岗岩化而成。为了进一步分析岩浆分异及其潜在的含矿性，依花岗岩类含有的稀有元素地球化学特点，可将花岗岩类再细分为九种地球化学类型。

来自上地幔基性岩浆分异的花岗岩有四种：拉斑玄武岩系列斜长花岗岩、钙-碱性系列的斜长花岗岩、钠质稀有金属花岗岩和二长岩系列的花岗岩。来自地壳物质再生重熔和结晶分异的花岗岩也有四种：钙-碱性系列的再生花岗岩、奥长刚玉型稀有金属淡色花岗岩、碱

性系列的再生花岗岩和碱性系列稀有金属花岗岩。第九种是超变质的花岗岩。

Л.В.塔乌松根据苏联各地花岗岩的资料，分析了F、K、Na、Sr、Li等元素的变化特点，指出花岗岩所含的挥发分决定了岩体的潜在含矿性。不同成因的花岗岩类，其成矿专属性特点表现为：由基性岩浆分异的钙-碱性系列斜长花岗岩，主要含Au、Cu、Mo的矿化；二长岩系列的花岗岩含Sn、Au（少量）和多金属矿化；钠质稀有金属花岗岩含Zr、Hf、TR、Nb、Ta等矿化；再生重熔的碱性系列稀有金属花岗岩有W和少量Mo矿化；奥长刚玉岩型稀有金属花岗岩有Sn、W、Nb、Ta和多金属矿化；钙-碱性系列的再生花岗岩有Au、Cu、Mo和多金属矿化；拉斑玄武岩系列的斜长花岗岩、重熔碱性系列花岗岩和变质花岗岩化花岗岩的潜在含矿性最差。此外，各类花岗岩的含矿性还与侵入体的形成深度和规模等有关。

近年来出现了把区域岩石学、区域地球化学和实验岩石学资料结合起来，探索花岗岩类的不同成因分类和不同的成矿专属性的研究方向。B.W.查佩尔与A.J.怀特(1974)研究了澳大利亚东南部拉克兰褶皱带的花岗岩，并将其分出两种不同成因类型：即I型花岗岩和S型花岗岩，二者不同点表现在$^{87}Sr/^{86}Sr$比值、化学成分、矿物组合、副矿物特征和挥发分等方面。澳大利亚东南部古生代褶皱带花岗岩和欧洲西部海西期花岗岩属S型花岗岩，主要与Sn矿有关，而Mo则与I型花岗岩有关。

日本石原舜三（1977）研究了东亚Mo-W-Sn成矿带和日本新生代的花岗岩，发现花岗岩中不透明矿物含量和矿物组合存在两个不同的系列，即磁铁矿系列和钛铁矿系列。前者不透明矿物的体积百分含量远较后者为高，并随岩浆分异酸度增高而降低，说明二者在不同氧逸度条件下结晶。在区域分布上也有一定的规律，结合地质特征和同位素分析，认为磁铁矿系列花岗岩是岩浆成因的，而钛铁矿系列花岗岩是大陆壳条件下形成的。二者都含Sn，但二者地球化学性状和丰度不同。对磁铁矿系列花岗岩而言，Sn在相对较基性岩中富集；对钛铁矿系列花岗岩而言，Sn则在分异良好的花岗岩中富集。二者的成矿专属性不同，磁铁矿系列的花岗岩与斑岩型Cu、Mo、Au、Ag等矿化有关。钛铁矿系列花岗岩则与云英岩型Sn、W、Be等矿化有关。从此可进而解释环太平洋东西两带的成矿差异。

（三）岩体外围内生矿床带状分布规律的研究

围绕侵入体分布的内生矿床，在其矿种和矿床类型、矿石组成和结构构造等方面均出现规律的有序变化。这在成矿预测中，特别是盲矿预测中有着重要意义。

我国华南内生矿床围绕中酸岩小侵入体呈水平分带：在岩体内部或顶部为Nb、Ta矿化，往外为岩体接触带有W、Sn、Mo、Bi、Be、矽卡岩或高温热液矿化，再外为Cu、Pb、Zn等中温热液矿化，远离岩体为Sb、Hg、U、Au低温远成矿化。上述理想的水平分带，发育完整的几乎难以见到。各带的矿化强度差别也很大。如湖南东坡多金属矿田由岩体向外的分带是：由岩体往外为Nb、Ta矿化（无工业价值）→W、Bi、Mo带→Sn、Cu带→Pb、Zn带（有工业价值）→Sb、Hg和U矿化（无工业价值）。

围绕侵入岩体矿床的分带现象，国外也有不少典型实例。如苏联塔拉斯阿拉套地区库梅什塔加花岗岩体，侵入于元古代和下古生代页岩、砂岩和石灰岩中，在接触带为高温矿床，远离接触带逐步为低温矿床所代替。该矿床围绕岩体分为五个带，自岩体向南依次为：磁铁矿带、毒砂矿带、多金属矿带、含铜石英碳酸盐脉带和无矿石英脉带。西、北、东三个方向矿带发育不全。矿带在岩体向南舌状突出端发育较全，这反映了矿液的运移方向(图1-17)。

矿床分带的成因，曾为许多矿床研究者所关注，有的强调成矿时的温度、压力以及矿液

浓度的变化控制了矿床分带；有的强调构造环境的变化控制了矿床分带；地热分带者认为温度梯度是影响矿质沉淀的主要因素；沉淀分带者认为成矿过程中的物理化学环境变化是形成分带的主要因素；脉动分带者强调矿液的多次活动是主导因素；过滤分带者主张矿液与围岩的化学反应有关；最近也有人提出矿床分带与成矿作用多次叠加改造有关。总之造成矿床分带的原因是复杂的，分带类型是多种多样的。自然界中广为见及的是正向分带，有时亦出现逆向分带。有关分带的形成机制和建立分带模型，是值得今后进一步研究的课题。

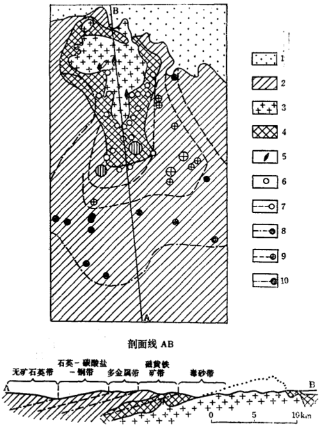


图1-17　围绕塔拉斯阿拉套山库梅什塔格花岗岩体矿床的带状分布

（据B.И斯米尔诺夫，1957）

1—第三纪和第四纪沉积；2—早古生代岩石；3—花岗岩；4—角岩；5—伟晶岩脉；6—符山石-石榴石矽卡岩，含白钨矿、辉钼矿、毒砂和辉铋矿；7—磁黄铁矿-黄铜矿矿脉、磁黄铁矿矿脉和黄铜矿矿脉；8—毒砂矿脉；9—多金属矿脉；10—含黄铜矿和方铅矿的石英-碳酸盐脉

（四）岩体被剥蚀深度的研究

为数众多的各类岩浆期后矿床产于中酸性侵入体的顶部及其附近围岩中，所以侵入体被剥蚀深度，在一定程度上意味着与其有关的矿床的出露程度。这在矿区的局部预测中尤为重要。当剥蚀面较浅，未及岩体顶部时，蚀变现象及岩脉分布区，可作为找Pb、Zn、Hg、Sb等低温矿床的有希望地区。当剥蚀面深度中等，刚刚达到岩体顶部，侵入体呈岛状分布，各种蚀变较强时，是找寻各种热液矿床和矽卡岩矿床很有希望的地区。中酸性岩体大面积出露、剥蚀很深时，对找矿一般不利。因为在成因上与该岩体有关的矿床数量将大为减少。当侵入体系为多次侵入的复式岩体时，则情况更为复杂。

岩体被剥蚀深度的确定，主要根据岩体本身的产出地质特征、岩体形态、岩相变化、捕虏体分布、岩石化学、地球化学（一些特征元素的含量变化及其有关元素比值的变化如Nb／V、K／Na、Zn／Pb等）、副矿物的分布、蚀变强弱及组合等特征综合分析而定。以与斑岩铜矿有关的斑岩体为例，其确定岩体根部和顶部的主要标志见表1-4。

主要的工业矿化出现在斑岩体的特定部位，呈现规律的蚀变分带，已经建立的斑岩蚀变模型，用以判定岩体被剥蚀深度，对矿床的深部远景预测具有重要意义（图1-18）。图中显示了国内外一些斑岩铜矿的不同剥蚀深度。

表1-4 与斑岩铜矿有关的斑岩体根部及顶部特征对比表

斑岩体根部特征	斑岩体顶部特征
岩性均一	呈斑状
蚀变弱以钾化为主	蚀变强，有青磐岩化、泥化、石英绢云母化等系列蚀变
长石具碱性反应边	碱性长石呈细脉产出
硫化物少，小于3%，呈浸染状	硫化物多，7～10%，呈细脉状
$FeS_2/CuFeS_2=1:1\sim1:5$	大于10∶1
铜的含量低	铜含量高
Fe_3O_4交代FeS_2	相反FeS_2交代Fe_3O_4
无Pb、Zn、Au、Ag的分带	有分带
角砾岩筒少见	常见
氧化系数Fe^{+3}/Fe^{+2}较小	较大
磷灰石、锆英石量较少	较多
成矿远景较小	较大

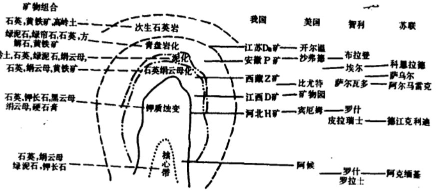


图1-18 斑岩铜矿主要蚀变分带及国内外斑岩铜矿形成相对深度示意图

（据翟裕生，1979）

（五）岩浆演化与成矿关系的研究

在漫长的地质历史进程中，不同阶段的成矿作用总是与其相应的岩浆演化密切相关的。从运动和发展观点来看待岩浆活动与成矿的关系，对成矿预测和矿床评价有十分重要的意义。

根据南京大学和中国科学院地球化学研究所的研究，我国华南花岗岩岩浆的演化与其相应的成矿演化密切相关。时间上花岗岩演化包括五个旋回，从老到新在岩石化学上SiO_2、碱金属和挥发分逐渐增加，Fe、Mg、Ca逐步减少。矿物中斜长石减少，斜长石牌号变小，钾长石增加。含Fe、Ti的副矿物逐渐变少，含稀有稀土的副矿物（褐钇铌矿、铌铁矿等）增加。Hf/Zr、U/Th、ΣTRY／ΣTRCe和Ta／Nb比值逐步增高。U在晚期花岗岩中含量增高。可见随时代变新，增加的元素是亲花岗岩的元素，其中包括碱金属、Li、Rb、Cs、W、Sn、Be、TR（尤其是ΣY）、Nb、Ta（尤其是Ta）Hf等。趋向减少的元素是V、Cr、Co、Ni、Cu、Zn等。在空间上由NW向SE花岗岩的分布，其时代由老变新，说明大陆在向SE方向增长。同旋回的岩体分布于同一构造带中，晚旋回岩体可以重叠于早期旋回之上，形成多旋回多阶段的复式岩体。不同成因的花岗岩，同旋回早期为深源分异花岗岩，偏中基性，而晚期为黑云母花岗

岩。赣西北和湘西雪峰期时代较老岩体为斜长花岗岩和花岗闪长岩，有金矿产出。赣南粤北印支期岩体为黑云母花岗岩，与Nb、Ta矿床关系密切。燕山期为黑云母花岗岩、二云母花岗岩或白云母花岗岩，与W、Sn、Be、Nb、Ta等矿床关系十分密切。

我国南岭岩浆活动规律性明显，一般从侵入到喷出，不断加强，至燕山期达到最高峰；岩体侵位从低到高，从原地半原地到远距离侵位，岩体规模从大到小；岩体形态从岩基到岩株、岩瘤、岩枝；酸碱度不断增高，W、Nb、Ta的丰度也不断增高，二价及高价阳离子减少，微量元素中Zr、Hf含量不断减少，Na／K、Ta／Nb、Rb／K比值显著增大，TR从Ce族向Y族演化；岩石类型从花岗闪长岩、二长岩到黑云母花岗岩（斜长石牌号逐渐降低），由黑云母花岗岩依次向二云母花岗岩，锂云母花岗岩或白云母花岗岩过渡；碱金属中Na^+增长代替了K^+的增长；成矿作用从岩体内向外由岩浆矿床→分异交代矿床→气成热液矿床；成矿金属元素从TR→Nb、Ta→W、Sn、Mo、Bi→Cu、Pb、Zn→Sb作规律分布。

不同旋回的花岗岩，从老到新有时具有递进演化的趋势。如海南岛石碌附近加里东期产生了混合岩，印支期在混合岩化基础上形成交代花岗岩，燕山期则为再生岩浆的花岗岩。这表明了花岗岩演化的继承性。

一些苏联学者（Ю.А.库兹涅佐夫等，1976）通过对西伯利亚和远东岩浆演化的研究，以岩浆建造学说为基础，认为岩浆作用与地球沉积圈的构造无关，而是上地幔活化作用的一种反映。岩浆建造类型与构造类型没有严格的固定关系，矿化的成分和强度主要取决于岩浆建造本身的内部标志，如含碱度、Na／K比值等。成矿物质不仅仅是从花岗岩组合中淬取，更主要的是从整个深部岩石组合中淬取。因而强调了近地表和深处背景综合研究的重要意义。

（六）岩体与内生矿化的成因联系

以上述几方面研究为基础，可以进而分析矿化与岩体的成因联系，一般说来，矿化与侵入岩体的成因联系，可以根据下列主要准则进行综合判断：

（1）一定的矿床和矿床类型与一定的岩浆建造存在着空间上的联系，表现为矿床和岩体产于同一局部构造中；

（2）矿化和岩体形成的地质时代接近，矿床与岩体同时或者稍晚形成；

（3）岩体和矿床具有相似的地球化学特点，这表现在矿物、岩石、成矿元素和微量元素诸特征方面。一定的矿石建造产于一定成分的岩石建造中；矿石中所含矿物在岩体中呈造岩矿物或副矿物存在；岩体和矿石矿物中某些微量元素相同以及某些元素同位素组成相似等等；

（4）矿化围绕岩体呈带状分布（水平、垂直）。由岩体自近至远，矿物中气液包裹体类型发生规律变化，成矿温度变低，呈现明显的温度分带。依系统的矿物包裹体测温资料或某些相关元素的比值，可以查明矿液的流向，这对矿床的局部富集预测有重要意义；

（5）矿床规模和分布与岩体顶面形态和大小有某种依从关系。矿化类型、矿物共生组合与岩体形成深度等存在一定的联系。

总之，矿化与中酸性岩体的成因联系极其复杂，上述准则远非问题的全部，有待多方面进行研究。

四、火山活动对有关矿床的控制

（一）概　述

火山成矿作用的重要性，从现代火山的考察得到证实。与火山活动有关的矿床，40年代

只注意到黄铁矿型铜矿和多金属矿，从50年代开始陆续发现许多重要矿产与火山活动有关，其中包括Fe、Cu、Pb、Zn以及金刚石、明矾石等多种金属和非金属矿床。矿床类型繁多。规模可以很大，是当前重要的开采探查对象。一些重要的矿床类型如鞍山式铁矿、基鲁纳式铁矿、斑岩铜钼矿、层控多金属矿，以及绿岩带的Au、Cu、Ni等矿床都直接或间接与火山活动有关。许多重要的沉积矿床为火山活动提供了物质来源。从已有资料看，火山活动的各个不同阶段均有矿床的形成：早期火山喷出阶段，形成一系列火山-岩浆矿床，它约占火山矿床的15～20%，如智利拉科铁矿床和金伯利岩中的金刚石矿床以及我国长江中下游玢岩铁矿的一部分、火成碳酸岩中的Nb、Ta矿床等。矿体分布在火山口和通道附近。与其有关的还有火山沉积矿床，如一些与火山碎屑岩整合产出的铁矿。火山活动的晚期阶段，以喷气和热液活动为主，可形成大量的有重要经济意义的矿床，它约占火山矿床的60～70%，其中包括Fe、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Au、Ag、U以及部分稀有元素和S、B、明矾石等多种矿床。它们伴随各种热液蚀变，还与深部岩浆源有联系，其中包括火山岩和斑岩型矿床。

按照火山形成的环境，可以分为海洋火山和大陆火山两种，二者形成的物理化学环境不同。海底火山及其有关矿床早已引起人们的注意，包括阿尔戈马式条带状铁矿和块状硫化物矿床等，气成热液和火山沉积在成矿过程中起重要作用。对陆相火山岩的研究近年来也有不少进展，如我国玢岩铁矿的研究就是其代表。

古火山活动及其有关矿床，由于经历了长期多次地质作用的改造和叠加，成矿过程变得特别复杂。随着变质岩原岩恢复和变质过程的研究，在老变质岩区和绿岩带发现有Fe、Cu、Au、Cr、Ni、U以及石棉等一些重要矿床，近年来引起了普遍的重视。

目前世界各国对火山成矿研究较多的是苏联、日本、加拿大、澳大利亚等国。南、北美洲一些国家则对斑岩铜钼矿做了大量研究工作。研究区集中在环太平洋中新生代火山岩带（主要是铁铜矿床、斑岩铜矿）。加拿大对绿岩带有关矿床（铁、铜、金特别是黄铁矿型铜锌矿），苏联对乌拉尔、哈萨克斯坦、西伯利亚和高加索等地与火山有关矿床（铁矿、黄铁矿型铜矿、多金属矿、斑岩铜矿等），瑞典和挪威对铜、铁矿床(基鲁纳型铁矿和黄铁矿型铜矿、多金属矿），西班牙（黄铁矿型矿床）以及巴尔干半岛各国对斑岩铜矿、黄铁矿型铜矿、火山沉积铁矿等都做了大量的工作。

与火山活动有关的矿床的分类，不同学者很不统一。有的从火山不同阶段成矿作用出发而分为火山岩浆、火山喷气、喷溢、火山热液、火山沉积等矿床类型；有的强调不同的大地构造环境，分为地槽不同阶段和地台中的火山矿床；有的强调火山形成环境不同而分为大陆火山和海底火山有关的矿床等等。

近年来以火山成矿理论为指导，在找矿预测中取得了较为明显的效果。目前有关火山成矿研究主要集中在下列几个方面：对现代火山成矿作用进行系统的观察对比，对火山热液的性质、成矿方式和成矿机制进行系统的研究，对不同类型火山岩带的含矿性以及对变质岩区的古火山成矿作用进行系统的研究。

（二）火山成矿特点分析

许多重要矿床与火山活动有关，随着研究的深入，矿种和矿床类型仍在不断增加。现择其重要者，简述于后：

1．金伯利岩中的金刚石矿床

金伯利岩是一种偏碱性超基性岩，是天然金刚石的主要赋矿母岩。自1870年在南非发现以后，又在苏联等国发现同类岩石和矿床。所有的金伯利岩毫无例外地受大地构造和深大断裂的

严格控制，世界上20多个国家共发现1000多个金伯利岩岩体，都产在稳定的地台区或地盾区。地台边缘邻接带和深断裂带直接控制了岩体的分布，不同方向深断裂交汇处或与次级断裂交汇复合处则更为有利。根据岩石矿物学研究，金伯利岩是一种具有超基性质岩浆成分在特殊条件下形成的岩石，一般形成于150～300km深处。它常与苦橄岩、黄长煌斑岩、火成碳酸盐岩等共生。金伯利岩的含矿性，取决于岩浆中碳元素的含量和岩石形成的物理化学条件。金伯利岩及其有关矿床的预测，主要根据金伯利岩岩浆生成的地质背景和控制其上升分布的深断裂带，还可利用与金刚石共生的镁铝石榴子石、铬透辉石等，作为有效的找矿矿物标志。近年来在西澳大利亚钾镁煌斑岩岩脉中，发现了具有工业价值的原生金刚石矿床，这应该引起重视。

2．与火山岩有关的铁矿床

该类矿床具有重要的工业意义。目前多数人认为火山成因的铁矿可以由四种方式形成：

① 在海底近火山源条件下，主要由火山喷气、热液作用和沉积作用而形成，可能还包括部分矿浆的活动。这类铁矿以层状、似层状产出为主，但也可能有细脉状、网脉状矿体。矿床同时伴随有热液蚀变，还可以出现较高温的矿物。例如加拿大的海仑菱铁矿和瑞典基鲁纳型铁矿均属此类。

② 来自火山活动的铁质，在距火山源较远或很远的地方，正常沉积环境下沉积而成。包括各类含铁石英岩型矿床以及与辉绿岩-硅质页岩建造中的有关铁矿床。

③ 在地表及近地表由火山喷气、火山热液交代、充填、沉积及铁质熔浆在地表活动而成的铁矿。如智利拉科铁矿、日本群马式铁矿及苏联阿尔泰与石英角斑岩质火山岩有关的某些铁矿。

④ 主要由次火山岩侵入体及其有关的火山后期热液交代作用形成的铁矿。属这类矿床的有苏联土尔盖某些铁矿和智利中生代某些铁矿。

不难看出，与火山活动有关的铁矿，形成在火山活动的各个阶段，并有多种多样的成矿作用，如火山喷气、火山热液、火山沉积和火山矿浆等。由于近年来火山成矿作用的深入研究，改变了一些铁矿成因的认识，如对磁铁石英岩型铁矿，近年来的研究资料表明，几乎所有含铁硅质建造中都有大量的火山物质。一些世界著名的磁铁石英岩铁矿，部与海底细碧岩类共生，如加拿大的拉布拉多铁矿与喷出岩互层产出，并沿着走向过渡为喷出岩。在苏联的乌克兰克里沃罗格、乌拉尔、西伯利亚、库尔斯克，英国新威尔士南部，澳大利亚西部以及巴西等地均可见及。在一些喷发岩剖面中，有许多铁矿层产出，铁质来源只可能用火山成因来解释。所以有人认为磁铁石英岩是与基性火山活动有关的火山沉积矿床。有人认为我国长江中下游和邯邢地区矽卡岩型铁矿属火山沉积成因的铁矿床。

与铁矿有关的火山岩，主要是中基性火山岩。矿床的形成时间在火山活动的末期、火山活动的间歇期和火山活动性质改变时期。铁矿多产在不同岩性、岩相的火山岩接触部位，即在火山熔岩或火山碎屑岩的顶部或火山岩与沉积岩的接触部位。含铁的火山岩含碱量偏高，而且$Na_2O>K_2O$(铜矿床则与此相反)。一般与中性偏基性的火山岩伴生的铁矿规模大，如苏联土尔盖铁矿，主要产在钙碱系列安山玄武质玢岩和凝灰岩、层凝灰岩中。与酸性火山岩伴生的铁矿则一般规模较小（但瑞典基鲁纳铁矿规模较大）。

火山沉积铁矿主要产于碧玉硅铁建造、长英粒变岩建造、硅质页岩建造和碳酸盐岩建造中。另外安山岩建造(包括安山熔岩和安山岩成分的凝灰岩)也是一个重要的含矿建造。产出环境海相陆相均有，而且铁铜往往共生出现。海相的有云南大红山铁铜矿床、四川拉拉厂铜铁

矿和黑龙江谢尔塔拉铁矿等。陆相的以宁芜地区玢岩铁矿为代表，它是一套偏中性向碱性演化的火山岩，主要为安山-粗面岩类到玄武岩建造，其中包括了一系列火山喷气热液、次火山岩和火山沉积矿床。不同类型的矿床产于不同的特定部位（见玢岩铁矿成矿模式图），且各类矿床在时空上有一定的成生联系。

3. 与火山活动有关的多金属矿床

该类矿床包括多种成因的多金属矿床，应着重指出的是黄铁矿型铜矿和斑岩型铜钼矿床。

黄铁矿型铜矿

此类矿床的含矿火山岩几乎都属于海相细碧角斑岩建造和绿色凝灰岩建造，变质后形成绿岩带。细碧角斑岩建造包括细碧岩和角斑岩两种特定岩石。细碧岩是SiO_2含量落入玄武岩范围而其Na_2O含量超过正常玄武岩的一种基性火山岩，从矿物成分看是一种钠长玄武岩；角斑岩是一种以钠长石为主要成分的粗面质岩石。这两种岩石组合在一起称细碧角斑岩建造，以富钠质为其特点，岩石常具枕状构造，说明是一种水下喷出的产物。细碧角斑岩建造的分异程度与含矿性关系密切，往往从基性喷出（辉绿岩和玄武玢岩）到中酸性喷出（安山玢岩、英安玢岩和流纹斑岩）。P.M.弗拉索夫强调东亚地区的黄铁矿型矿床除与细碧角斑岩有关外，还与绿色凝灰岩建造有关。二者是同一演化系列的产物（绿色凝灰岩建造形成较晚）。日本许多“黑矿”都产在绿色凝灰岩建造中。

产在火山岩中的黄铁矿型矿床，其围岩从基性到酸性都有，常见的为细碧角斑岩和石英角斑岩。黄铁矿和黄铁矿型铜矿常与富钠质基性岩占优势的火山杂岩有关；黄铁矿型多金属矿则趋向于与富钾钠的酸性岩为主的火山岩有关。如苏联乌拉尔黄铁矿型铜矿，都产在晚志留世—早泥盆世的富钠质细碧角斑岩中。塞浦路斯晚白垩世黄铁矿型矿床多产在基性熔岩顶部与上覆岩层的接触带部位。阿尔泰黄铁矿和多金属矿大部分产于中泥盆世富钾钠石英角斑岩中，有许多矿床与流纹岩或英安岩组成的穹窿构造有关。西班牙的里奥廷托矿床，产于古生代流纹质熔岩与酸性凝灰岩的接触带及其顶部。

黄铁矿型矿床在矿体上部常覆盖有薄的硅质、铁质层，有时还有锰质的沉积层（在塞浦路斯、南乌拉尔、北高加索、加拿大、西班牙等许多矿床均可见到），这可以作为在火山岩区预测和找寻这类矿床的重要地层标志。一些层控型多金属矿，则产在远离火山口的沉积岩中，但在沉积岩中常夹有火山碎屑岩（如澳大利亚芒特艾萨和西德的拉麦里斯堡）。

有关黄铁矿型矿床的成因，有人认为是由火山喷气热液、次火山热液和火山沉积多种作用形成的。В.И.斯米尔诺夫总结了该类矿床形成条件，认为在优地槽发展的早期阶段，由于玄武岩类的火山作用，从深部火山源产生矿化气水热液流，其中一部分矿质在上升途中沉淀，形成次火山热液矿床，其矿层产于细碧角斑岩系熔岩和凝灰岩中（如乌拉尔、小高加索、日本、挪威、墨西哥等矿床)。一部分矿质在海底沉淀，形成喷气（热液）或沉积矿床，其矿层产于熔岩上凝灰岩底部(如大高加索、西班牙、葡萄牙、土耳其、希腊、塞浦路斯和日本的部分矿床）。当矿质被火山活动从中心向四周带出，则形成远处陆源建造中的沉积矿床（如西德麦根、罗马尼亚别兰及保加利亚、澳大利亚、瑞士等产在远火山建造中粘土页岩和黑色页岩中的矿床)。可见，在距火山中心不同距离内，可以形成不同类型的黄铁矿型矿床，其成矿作用主要是在火山作用演化的末期，熔岩喷发近结束的时期。绝大多数矿床属于海底

火山喷气-沉积矿床。

上述不同产状和类型的矿化彼此间有成生联系，如日本“黑矿”上部的层状矿体，往往有脉状矿体与深部相联系。有人强调脉状矿化为层状矿提供了矿质来源。黄铁矿型矿床所富含的金属，有时只是黄铁矿，有时富铜，有时富铅锌。苏联学者认为与矿质来源和地壳厚度等因素有关，当硅铝层厚度不大时，岩浆岩和矿质是玄武岩浆分异的产物，矿石中Cu＞Zn＞Pb，反之硅铝层很厚，形成流纹岩火山岩建造，这时含铜较低。黄铁矿型铜矿产在硅铝层厚度小于10km的地方，硅镁层与硅铝层厚度比为4∶1。而黄铁矿型铅锌矿，产在硅铝层厚为10～15km处以及硅镁层与硅铝层厚度比为4∶1～2∶1的地区。R.W.哈钦森根据美国加州的科迪勒拉矿带以及纽芬兰的阿巴拉契亚造山带、澳大利亚塔斯曼地槽带火山成因的硫化矿床的研究，将该类型矿床分为三类（表1-5），认为这类矿床差异的出现，与整个地壳演化有关。

表1-5　各种火山成因硫化物矿床的一些地质特征的对比

（据R.W.哈钦森）

有色金属类型	伴生的贵金属	周围的火山岩类型	火山活动的类型	沉积作用的类型	构造作用	时代	实例
①锌-铜-黄铁矿	兼有金（含铜高）和银（含锌高）	分异良好，以中性成分为主（？）；拉斑玄武岩—钙碱玄武岩—安山岩—英安岩—流纹岩等	水面下很浅的基性海底台地，具有向酸性火山作用过渡的分异作用，形成圆顶中心	化学的，燧石，含铁建造碎屑的幼年期的第一旋回的、火山成因的杂砂岩、火山碎屑岩	优地槽造山运动阶段的早期大沉陷	太古代 元古代（？）	安大略省的提明斯，魁北克省的诺兰达，阿利桑那州的尤艾提德佛德
锌-铜-黄铁矿	同上	同上	同上	同上	同上，早期潜没	前奥陶纪中泥盆纪	纽芬兰的兰伯勒尔，加利福尼亚州，西夏斯塔
②铅-锌-铜-黄铁矿	以银为主	中性到酸性钙碱火山岩，安山岩—英安岩—流纹岩—斑岩—结晶凝灰岩等	喷发中心为酸性火山碎屑岩和熔结凝灰岩。活动火山，有海底喷发的，也有陆上喷发的	外力碎屑岩为主，幼年期，火山成因的杂砂岩、锰铁页岩、石墨页岩和泥板岩、粉砂岩、少量化学沉积、燧石、铁建造，硫酸盐脉石很常见	优地槽造山运动阶段的晚期，沉陷为隆起物所填补（？）	元古代 奥陶纪	昆士兰州芒特—艾萨、厄林顿、佛米利昂（肖德贝里盆地）、新不伦瑞克的巴瑟斯特
铅-锌-铜-黄铁矿	同上	同上	同上	同上	同上，晚期潜没	三叠纪 第三纪	加利福尼亚州的东夏斯塔，日本的黑矿
③铜-黄铁矿	以金为主	分异较差的基性—超基性岩（蛇绿岩）套，拉斑玄武岩—玄武岩枕状熔岩，蛇纹岩等	深海底的、宁静的裂隙喷发	以化学沉积为主，燧石、泥铁矿、泥锰矿碎屑不是主要的	大陆板块张裂，分离形成地堑	奥陶纪、白垩纪、侏罗—白垩纪、白垩纪—始新世	纽芬兰西部、塞浦路斯、加利福尼亚州的艾兰山、菲律宾

斑岩铜（钼）矿床

斑岩铜矿多与富钙、钾的中酸性次火山斑状小岩体有关（包括浅成侵入相岩体），主要母岩是花岗闪长岩类，从南美到北美的著名斑岩铜矿带的成矿母岩以石英二长岩岩株最为典型。斑岩矿化往往与一定的火山岩属同一演化系列，同一造山期的产物。空间上，它主要沿板块的边缘俯冲带呈带状分布。

我国的斑岩铜矿大致可以分为北部成矿区、东部成矿区和西部成矿区三大区域，它们分

别属于世界性古亚洲、环太平洋带和古地中海—喜马拉雅三大成矿带。三个带的控矿因素见表1-6。

表1-6 我国斑岩铜矿三大成矿区的控矿因素和实例

（据地科院地矿所一室）

成矿区域	控矿因素	代表矿床
北部成矿区域	有关岩浆岩是华里西期（晚古生代）和燕山期（侏罗白垩纪）中性至酸性侵入—喷出岩，围岩主要为古生代(特别是上古生代)海相或海陆交互相火山岩及火山碎屑岩建造。构造上主要受古生代向南凸出的弧形断裂-褶皱带控制，东部地区受燕山期 NE或NNE构造的影响	新疆莱历斯高尔铜矿、肯登高尔铜钼矿、托豆布拉克铜矿、莫牙依拉克铜矿、阿克沙拉铜矿，甘肃公婆泉铜矿、白山堂铜矿、大黑山钼矿、吉林塔尔布勒吉铜矿、小西南岔铜矿，黑龙江多宝山铜矿、八大关铜钼矿
东部成矿区域	主要与燕山期的中性至酸性侵入—喷出岩类有关，包括少量前古生代和新生代岩浆活动。成矿围岩复杂；东南沿海主要为中生代陆相火山碎屑岩，一部分为古生代的沉积岩（碳酸岩和砂页岩）一部分为老的变质岩。构造上东部主要受中生代NE或NNE向断裂带控制。在秦岭东段因袭老的构造，仍为NWW向分布	江西铜厂和富家坞铜钼矿、福建钟腾铜钼矿、浙江银坑铜矿、江苏大平山铜矿、河南上房沟钼矿、陕西金堆城钼矿、台湾奇美铜矿（新生代晚第三纪）、山西铜矿峪铜矿（前古生代）
西部成矿区域	主要与中生代（印支、燕山期）中性至酸性侵入—喷出岩有关。围岩主要为下二叠到上三叠统的海相火山碎屑岩夹灰岩。构造上受中—新生代的断裂—褶皱带的控制。矿带呈弧形或反“S”形向西断续延伸	云南鸡雷坪铜矿和马厂箐铜钼矿、西藏玉龙铜矿、青海那然公玛钼矿、芒采钼矿、甘肃闵依铜矿

斑岩矿床在世界范围内具有广泛的一致性。矿床主要产在有关斑岩体顶部和内外接触带，当围岩为碳酸盐岩类时，均有不同程度矽卡岩化与之伴生。斑岩的岩性对所含矿种有明显的控制作用，岩石类型从中性→中酸性→酸性。矿床则从铜矿→铜钼(或铜铁、铜锌)→钼矿。我国已知12个钼矿床均产在花岗斑岩类岩体中，14个铜矿床有8个产在闪长岩类中、6个产在花岗闪长岩类中。7个铜钼矿床和6个铜铁（或铜锌）矿床均产在花岗闪长岩类中。斑岩型矿床所含金属元素有区域上的差异，R.H.西里托（1972）指出，这可能与含不同金属的洋壳俯冲有关，如Cu-Mo矿床沿美洲西部山系越过阿尔卑斯带自南拉斯拉夫经巴尔干到巴基斯坦。而Cu-Au矿发育在西太平洋岛弧。A.H.米丘尔等（1972）认为可能与毕乌夫带倾角有关，Cu-Mo与缓（浅）倾斜的毕乌夫带有关，如秘鲁的Cu-Mo矿床；而Cu-Au与陡倾的毕乌夫带有关，如缅甸和岛弧区的Cu-Au矿床构造上，矿床主要受区域性深断裂带控制，形成在地槽回返褶皱的后期固化阶段和地台活化期。斑岩铜钼矿的成矿时代，主要是晚古生代及中新生代。我国燕山期仍是重要的斑岩类成矿期。

与矿床伴生的围岩蚀变，呈规律的带状分布。从岩体中心向外，顺序为钾长石化(带)→石英绢云母化（带）→泥化（粘土化）（带）→青磐岩化（带）。这一标志，在斑岩矿床预测评价中有重要意义（参阅图1-19）。

4. 太古代绿岩带中的铁、铜、铅、锌、金、镍等矿床

绿岩带是指一套由复杂的变质基性超基性到中酸性火山岩和火山沉积岩组成的岩石组合。产于其中的矿床包括各种层控型金矿床、块状有色金属硫化物矿床、条带状磁铁石英岩建造铁矿床、与超基性岩有关的铬镍矿床以及非金属石棉、菱镁矿、滑石、刚玉等多种矿床。绿岩带主要发育在老的变质岩区。

有关绿岩带的含义、成因和成矿作用等，目前争论较多。多数人认为它是古老的地壳，它组成地盾的核心，是相当于洋壳的一种古地壳的特殊建造。属浅变质的绿色片岩相，广泛分布于太古代地块区，为花岗岩和花岗片麻岩所包围，年龄大于2400Ma的一套变质火山岩和沉积岩组合，如南部非洲和加拿大地盾的绿岩带就很典型。

老变质岩区的矿床，主要集中于绿岩带中，预测时应首先分出绿岩带。如加拿大魁北克西北到安大略东北部变质岩分布$200\times10^4km^2$，其中绿岩带占$3.9\times10^4km^2$，集中了90%的重要矿床。变质岩区的金矿，主要集中产于绿岩带中，如加拿大波丘潘、澳大利亚卡尔古利、印度科拉尔等许多矿床。加拿大、澳大利亚、南非、津巴布韦许多镍矿、世界各地均有分布的鞍山式铁矿等，都无不与绿岩带有关，因此将绿岩带作为变质岩区矿床预测的重要对象已起国内外广泛的关注。

第三节　地层、岩相、古地理因素分析

与外生成矿作用有关的各种矿床，主要是受地层、岩相、古地理因素的控制。成矿作用发生在地壳岩石圈的上部以及水圈、气圈和生物圈中。成矿作用的能源主要是来自太阳辐射、部分来自生物化学和火山活动等。成矿物质主要来源是暴露于地表的岩石、矿床、生物有机体和火山喷发物等。部分成矿物质可能来自星际（陨石）。风化作用和沉积作用（包括机械沉积、蒸发沉积、化学沉积和生物沉积等）对成矿起着主导的作用。为了对这类矿床进行预测，深入的研究地层因素和岩相古地理因素十分必要。

一、地层、岩相、古地理因素分析的重要意义

地层指一定时代具有一定岩相特征的沉积物。各种外生矿床形成于一定时代的地层沉积中，即具有一定的地层层位。矿床在时间上分布是不均匀的，主要矿床往往集中在某几个时代（层位）。对外生矿床的预测，地层因素具有头等重要的意义。它对内生矿亦有一定控制作用。

岩相分析是从沉积物的矿物岩石特征和古生物特征来推断这些岩石的形成条件的。进而分析沉积物在某一时代的空间分布规律。

古地理指不同时期的自然地理变迁。包括古气候、古地貌、古水文和构造特征等。

地层、岩相、古地理三因素是紧密联系的。它们综合反映了外生矿床的形成条件、时空分布和地质背景。在外生矿床的预测评价中，对地层、岩相、古地理研究的重要意义，可归结为以下几方面：

(1) 外生矿床在资源结构中占有极其重要的地位。所有的能源矿产如石油、天然气、煤等均为外生矿床，锰、铝和建筑材料也几乎全部来自沉积矿床，其它黑色、有色、稀有放射、贵金属、非金属矿产等也有相当大比例来自外生矿床。据不完全统计，外生形

成矿床中，U占86%，Fe占80%（包括沉积和沉积变质矿床），Pb、Zn占50%，Cu占35%，Au大部分来自砂金和金-铀砾岩矿床，Nb、Ta、Zr、Hf、Ti、TR（独居石）相当部分来自砂矿床，非金属中P、K、S、B、I、Br以及盐类等沉积矿床至少占同类矿床的80%以上。有人估计沉积和沉积变质矿床约占矿产总储量的80%，而且这类矿床往往较内生矿床大而稳定，常呈层状或似层状产出。

（2）从近20年来成矿理论的研究进展，有关层控观点、陆相成钾观点、陆相生油观点和花岗岩化成矿的观点，都直接或间接与外生成矿作用有关。袁见齐在研究了国内外盐类矿床成因后指出，以往认为单一的海水或地表水在稳定平坦的盆地里蒸发成盐的模式，显然过于简单化，不能反映盐类沉积的全部过程。他认为在地球表面各地区不同地质时代中的成盐条件有所不同，断裂对成盐盆地的形成和发展起了主要控制作用。断裂的活动性质和强度决定了盆地的成盐条件；断裂沟通地表和地下，使深部物质参加了盐类的沉积。盆地地形复杂多变，影响了盐类的沉积过程。高山深盆的成盐模式可能是断陷盆地里一种重要的成盐机制。这一盐类矿床成因理论新观点，对预测找盐有重要意义。

此外，相当一部分层状的Cu、Pb、Zn、U、V、Au、Ag、W、Sb、Hg矿床，过去被认为与岩浆热液有关，其实都是与一定地层有关的层控矿床。层控矿床的成矿特点，早期是同生成矿，后期有其它成矿作用叠加改造。成矿作用只发生于一定的地层层位，预测评价这类矿床首先是分析有利的层位和古地理环境，其次是成矿时的构造环境，古水文古火山的作用以及形成后的变化等。层控矿床的形成与岩浆活动无关，或关系不直接不明显。一般认为，先是同生沉积（包括火山沉积），成矿元素在某一特定层位有一定集中，这可能还达不到工业富集的程度。在后生各种地质作用过程中（包括成岩作用、变质作用和各种热液作用等），或改造原来成矿物质，或添加新物质，使其成矿元素重新组合富集，形成工业矿床。层控矿床以其矿种多、规模大、产出稳定等特点，正引起世界各国的极大注意。

（3）从对各类外生矿床（包括层控矿床）的有效预测来说，实践证明：分析地层和岩相古地理因素，抓住了事物的本质，可以取得很好的预测效果，这在国内外均有许多成功的实例。对矿床形成条件的认识和理解非常重要，如在我国的石油普查工作中，李四光生前提出了在我国东部新华夏沉降带找油论断，其主要是从成油条件方面提出的，在整个成油地史时期内，这些条件是：

① 我国有广阔的拗陷区，并为浅海或湖水淹没；

② 有大量的生物滋生（海底或湖底）；

③ 适于生物繁殖的气候条件；

④ 大量的泥沙带入，迅速将生物遗体掩埋，不使其腐烂后变成气体逸散，具备上述条件即可在地层中形成星散状油质；

⑤ 有适当的构造条件，将这些分散的油质，运移集中起来。如一些旋扭构造，将油质从油田应力集中处向应力小处运移。从成油的基本条件出发，不仅在我国东部，而且在西部工作过的一些地方都找到了工业原油。如像鄂尔多斯、塔里木盆地等就经过“三进三出”，最后找到了工业原油。

云南东川铜矿床的预测找矿经历了较长的探索过程：50年代按岩浆成矿观点找矿，认为矿与辉绿岩有关，结果无重大突破；60年代沿断裂找矿，找到一些新矿床；70年代是循一定层位进行岩相分析，同时考虑断裂控矿，使找矿工作有了重大突破。现在在易门—东川—安通600km²范围内的因民落雪层中均发现有铜矿床分布，扩大了找矿远景。与国外同类矿床

进行类比，工业价值大的矿床赋存于浅海相和潟湖三角洲相。我国云南已发现矿床，主要是赋存于灰岩白云岩相中。所以从岩相古地理控矿规律和相变规律出发，在该区应向大陆蚀源方向找寻砂页岩相中的铜矿床。类似的例子还可以举出很多，如湘西汞矿，开始按岩浆热液成矿观点找矿，只注意构造控矿，而忽视了地层、岩相、古地理的控制，影响了成矿预测效果，后来分析了岩相古地理控矿规律，认为海湾环境对成矿最为有利，从而指出了预测找矿方向。

在国外也有许多典型的例子，如澳大利亚北部乔治纳盆地的磷块岩矿床，是60年代中期对世界各地磷块岩矿床形成条件进行分析以后，提出古洋流上升的成矿理论而预测发现的，可采储量达11亿吨。再如三角洲与油气有关的成矿规律，在许多地方使找油工作取得了成功。

近年来由于世界各国对层控和层状矿床的研究，各方面都取得了不少进展。根据现代洋底沉积物的研究，已经突破了大陆边缘控矿的概念，人们注意到海盆内部也有有利于成矿的局部条件。在成矿物质来源方面，不仅可以来自大陆蚀源区，也可以来自海底火山及海水本身。在岩相古地理研究方面，开展了现代沉积与古代沉积相结合，室内模拟与野外调查相结合的研究方法。提出浊流沉积和生物碎屑沉积的新的碳酸盐岩成因观点，发现在深海也有大量分选程度程很差的浊积岩，而且其中有石油等重要矿产形成。过去认为大量的海相碳酸盐岩属化学沉积岩，现在发现大量与生物和生物化学沉积有关，而且许多是生物碎屑成因的碳酸盐岩。所以，碳酸盐岩在多种环境均可形成。深入岩相分析、加强对各种岩相标志的研究，并在此基础上建立沉积模型，应引起重视。

在沉积环境研究中，强调了构造作用和水动力条件的分析。结合成矿预测在沉积成矿理论方面，在深入研究矿质来源和沉积环境及成矿机制的基础上，提出了一些新的成矿理论，诸如洋流成矿、渗流水成矿、卤水成矿、蒸发岩沉积成矿等观点。人们注意到洋流和浊流等水动力条件，注意到了控制水文地貌的古构造作用（同生构造）。我国在陆相生油和成盐研究方面做了大量工作。另外，三角洲相对金、铜、铀以及对油等控制，世界各国都很关注，而且积累了大量的资料。

二、地层、岩相、古地理因素对沉积矿床的控制

各类沉积矿床的形成取决于多种因素，如足够的物质来源和有利于成矿物质聚积和保存的条件等（包括成矿组分产生的物理化学和生物化学条件，成矿组分沉积时的水动力条件和古地理条件，含矿沉积物在成岩过程中矿质重新聚集的条件，已成矿层的被保存条件等）。这些条件的协调配合，可以使成矿作用达到最大的强度。否则，一种因素的积极影响会被另一种因素的消极影响所抵消，从而形成劣质矿或根本不成矿。因此成矿预测既要全面分析对成矿过程有利和不利的各种因素，又要分清主次，重点抓住起决定作用的关键因素。对外生沉积矿床来说，主要因素无疑是地层、岩相、古地理因素。

（一）地层因素分析

外生矿床在时间上的不均匀分布与整个地壳演化有关。沉积矿床是一种特殊的沉积相，是地壳演化的特定阶段的产物。

1. 沉积矿床在时间上的不均匀分布

沉积矿床在时间上形成于一定的时代（时控）。在预测评价中可以把注意力集中在某些特定时代的地层中，按层位缩小工作靶区。如外生铁矿几乎每个时代均有，但最有意义的是前寒

武纪成矿期，其储量占世界铁矿总储量的50%以上。其次是震旦到寒武纪、志留纪到泥盆纪、石炭纪、侏罗纪和第三纪。

锰矿以前寒武纪和第三纪最为重要，集中了全世界锰储量的50%以上。我国泥盆纪到三叠纪也有不少锰矿床。

铝土矿主要成矿期是石炭二叠纪、侏罗白垩纪、第三纪和第四纪。我国以第一个成矿期最为重要；

磷的成矿期是前震旦纪、震旦—寒武纪、二叠纪和第三纪；

我国煤矿主要集中在石炭二叠纪、三叠—侏罗纪和第三纪；

沉积铜矿集中在前震旦纪、二叠—三叠纪和侏罗—白垩纪；

盐类矿床世界上集中在泥盆纪、二叠纪和第三纪。我国已知成盐时代有奥陶纪、三叠纪、第三纪和第四纪。

预测找矿过程中，首先到有利成矿时代的地层中去找寻，进一步圈定找矿靶区，则要分析岩相古地理条件，研究成矿的具体层位内矿床空间分布规律。外生矿床的区域变化和局部变化较内生矿规律性明显些，是找矿预测的有利条件之一。

2. 沉积矿床的成矿序列

叶连俊认为在整个地史发展进程中，我国沉积矿床明显存在着四个成矿期，在每个成矿期中，主要沉积矿床形成规律的成矿序列（图1-19）。自老而新大致以：Fe→Mn→P→Al→煤→Cu→盐类这一顺序出现。有些成矿期内的成矿序列是不完整的。各个成矿期并不完全相同，如第Ⅰ和第Ⅱ成矿期的成矿序列只有其前期的矿床形成，第Ⅳ成矿期的成矿序列则只有其后期矿床形成。唯独第Ⅲ成矿期的成矿序列才是完整的。不但在成矿序列的完整程度上各成矿期有所不同，在同一种矿床的矿床类型上各成矿期亦有所差异，如2000Ma前的铁矿以条带状磁铁石英岩为主，而2000Ma以后，包括晚元古和古生代，则主要以鲕状赤铁矿为主；到了中生代变为以菱铁矿为主。可见成矿的周期性，只是成矿作用前进发展的一个侧面。某种矿产都集中在某一个或某几个时代，各种矿产均有自己特定的成矿期和演化方向。这种时间分布规律，有时带有全球的一致性，如前寒武纪变质铁矿的形成规律往往具有世界的一致性，而往后则区域性特征明显些，这与整个地壳演化规律相一致。

上述成矿序列，明显地反映了气候条件的规律演变，大致反映了从温湿的气候条件向干燥气候条件演化。即从Fe、Mn、P、Al、煤到铜、盐类沉积矿床形成而告终。另一方面，这一序列也反映了与地壳运动和海水进退的密切关系。即Fe、Mn、P等形成于海侵阶段，形成海相为主的沉积矿床，而Al、煤、Cu、盐类矿床则常形成于海退阶段，形成以陆相沉积为主的矿床。整个成矿序列可分为两个大的阶段：即早期海侵阶段成矿序列，其主要矿床产于海侵岩系的底部，矿层距底部不整合面一般不超过几十米，矿层稳定，分布于广阔的滨海到浅海地带。晚期海退阶段成矿序列，是在造陆运动过程中形成的，地壳构造趋于不稳定，沉积物分选性差，古气候愈来愈干燥，首先形成煤及铝土矿，这时气候仍为温湿的气候条件。实际上煤和铝是处于海进海退的转折部位，处于整个成矿序列过渡位置。往后即为含铜砂页岩和膏盐矿床，它们常产于一套类磨拉石同生盆地红色建造中。综上所述，沉积矿床可以分为两大类型：一种是形成于海侵或造海运动过程中的海相沉积矿床，另一种是形成于海退或造陆运动过程中的陆相沉积矿床。

利用上述成矿序列，根据不同的岩相古地理环境，可以由此及彼进行各类沉积矿床的预测，利用成矿序列规律，增强预测能力。

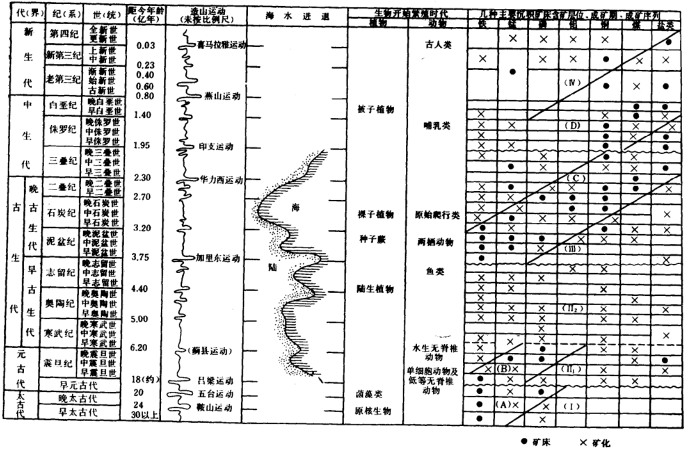


图1-19 中国沉积矿床成矿时代

(据叶连俊, 1976)

3. *成矿期和造山运动的关系*

成矿作用在时间上的周期性与地壳运动的周期性相一致，内生矿床和外生矿床二者正好有交替出现演化趋势。外生沉积矿床的成矿期往往出现于两个造山期之间，成矿期以大的造山运动为界。造山期的特点是地壳运动强烈，各种岩浆活动频繁，这就改变了地壳表层的物质组成，也改变了沉积矿床物质来源地的背景。随着地壳运动的减弱，地槽运动带的缩小，地台稳定区的逐步固化和扩大，沉积分异作用的增强，从而形成整个沉积成矿序列，其从不整合面附近开始，到海退变为陆相为止。

内生矿床与主要的岩浆活动密切相关，主要集中在造山带，形成于造山期，主要矿床集中在地槽褶皱带和构造活动带。而沉积矿床形成于两个造山期之间，即形成于地壳活动相对平静的造陆或造海时期，主要分布于比较稳定的地区。由于沉积环境相对稳定，则有利于各种风化作用和沉积分异作用。由于沉积过程中各种掺合作用不太强烈，则有利于成矿物质的分选和聚积。从上述可见内外生矿床是地壳演化的对立统一的产物，二者是互相联系的。

（二）岩相古地理因素分析

前面提到的一些主要矿床，尤其是各类沉积矿床（包括火山-沉积矿床），分布在一定的地层之中。在同一地层中矿床富集的具体空间部位，又受一定的岩相古地理条件所控制。通过地层对比和岩相分析，可以恢复和识别各部位的古地理环境，从而指导矿产预测。所以地层、岩相、古地理之间是密切联系不可分割的。基本工作方法是进行详细的地层对比和岩相分析，在此基础上做出尽可能详细的岩相古地理图，以此为底图编制成矿规律图和成矿预测图。

古地理环境的分析是以岩相研究为基础进行的。从不同的岩相分布和变化，综合分析当时的海陆分布、海水深浅、海水进退方向、海水的含盐度变化以及古气候的变化和沉积物的来源等。

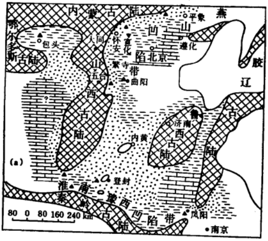
通过分析各种相标志，来识别各种沉积相。主要沉积相的标志，包括沉积岩层的构造标志、矿物标志（指相矿物）、生物标志（古生物种属和群落组合等）、各种物理标志（沉积物的粒度、成分、结构构造等）、各种化学标志(指相元素)等。通过各种相标志的分析，恢复古地形、海陆分布、海水深度及盐度、古海岸线的位置和变迁、古三角洲和河流的分布与变迁。沉积相可分出海相与陆相两大类，在海相中又可进一步分出滨海、浅海、深海相，实际工作中要注意海湾、潟湖、三角洲、生物礁等的空间分布。陆相可分出湖相和河流相等。在古地理环境分析时，可以参考已经建立的各种相模型。由于各种矿床均产于特定的古地理环境，以所恢复古地理环境，在矿床预测中有重要的实际意义。

古气候因素是另一重要控矿因素。不同的古气候条件制约着不同的沉积环境。在确定古气候时，主要以沉积岩相和古生物资料为依据。同位素和古地磁资料用于确定古纬度，成为古地理图编制的重要依据。有关各种沉积相的特点和古地理环境的确定，可以参考地史学、岩相古地理学的有关记述。

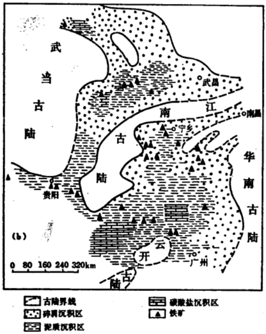
岩相古地理环境对各种沉积矿床的控制，其基本规律表现在以下几个方面：

（1）主要外生矿产均分布在沉积区与剥蚀区的中间地带，如古陆的边缘、滨海、浅海、潟湖、三角洲等地。震旦纪下部的宣龙式沉积铁矿和瓦房子锰矿分布在内蒙地轴的南缘。我国中南地区泥盆系的宁乡式沉积铁矿主要产于江南古陆的边缘（图1-20）。我国西南地区的铁、铜、铝等，主要产于康滇地轴的东缘，这与物质来源和沉积分异作用有关。

（2）按气候条件主要可以分为温湿和干旱两大类，前者以 Fe、Mn、P、Al 和煤成矿序



a—北方震旦纪宣龙式铁矿



b—南方泥盆纪宁乡式铁矿

图1-20 我国沉积铁矿形成的古地理位置示意图
（据侯德义，1984）

列为代表；各种膏盐矿床为干旱气候的代表。两者中间为过渡类型。

（3）主要的外生沉积矿床的形成，从地壳构造运动，可以分为海侵与海退两个不同的序列。海侵阶段形成的矿床包括Fe、Mn、P等，多分布在海侵岩系的底部。而海退阶段形成的矿床是Cu、膏盐类矿床等。Al、煤为其间过渡阶段的产物。相对稳定阶段则有灰岩、矽藻土等非金属矿床形成。

（4）各种外生矿床受特定的古地理环境控制：

① 温湿气候条件下的内陆盆地和滨海沼泽是煤矿形成的有利环境；

② Fe、Mn、P、Al主要形成在温湿气候条件下的古陆边缘、滨海、浅海地带和淡水湖盆中；

③ 干旱气候条件下古内陆盐湖、潟湖、是各类膏盐矿床形成的有利地带。包括石膏、岩盐、钾盐、硼砂、天然碱等矿床；

④ 三角洲、内陆大型盆地是油气和含铜砂页岩形成的有利环境；

⑤ 古的河谷、阶地、海滨、部分坡积层和冲积层是各类砂矿形成的有利地方，重要的矿床有Au、Pt、Zr、Nb、Ta、TR、W、Sn、Ti、金刚石等；

⑥ 炎热潮湿气候条件下，地形平缓，是风化淋滤矿床和风化壳矿床形成的有利环境；

⑦ 冰川、岩溶亦可以形成有工业意义的Au、Al等工业矿床。

（5）重要的沉积矿床受特定的岩相控制，并存在一定的相变规律，形成特有的沉积矿床分带；这不仅反映了成因特征，而且指出了空间分布规律，对预测找矿有重要意义。如各种沉积铁矿，可以具有四个不同的矿物相带（图1-21）：

① 氧化矿物相带：形成于充分氧化环境，以铁的氧化物和氢氧化物为主，如赤铁矿、褐铁矿、针铁矿等；

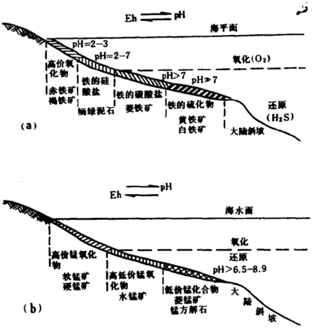


图1-21 沉积铁、锰矿相变规律示意图

a—沉积铁矿相变规律示意图；b—沉积锰矿相变规律示意图

（据袁见齐等，1979）

② 硅酸盐矿物相带（鲕绿泥石相）：以鲕绿泥石等硅酸盐矿物为主；

③ 碳酸盐矿物相带（菱铁矿相）：由于有机质的存在，处于较还原条件下，形成菱铁矿和含铁碳酸盐的混合物；

④ 硫化物相带（硫化氢相）：由于处于较深水的环境，由于细菌活动和有机质的分解，产生大量的H_2S，并与铁结合，形成黄铁矿、白铁矿等，以含黄铁矿的页岩和煤系为代表。

四个相带与湖、海盆地的深度或距岸远近等有密切的关系。海盆浅部以沉积氧化物相为特征，而深部以硫化物相为特征，相变本身反映了形成时古地理环境的变化。

锰矿亦有类似的相变规律。A.Г.别捷赫琴按距海岸线远近将沉积锰矿分为三个相带（如图1-21b）。

① 软锰矿矿石相 是四价锰的化合物（软锰矿、硬锰矿等），在自由氧充分活动，pH值较低的情况下，形成于沿岸附近。这些矿石含锰量很高，含S、P、Fe等杂质较少；

② 水锰矿矿石相 是三价和四价锰的化合物，常与蛋白石等共生，分布在离海岸较远、海水较深的地方，形成于氧不足较还原的环境中，矿石质量较软锰矿矿石稍差；

③ 碳酸盐矿石相 是二价锰的化合物，由菱锰矿、含锰黄铁矿、含锰方解石等组成，共生矿物除蛋白石外，还有黄铁矿、白铁矿等。是在距海岸更远更深的地方，CO_2和H_2S充足、pH值一般大于8.5环境中生成。矿石中含锰较低，而含P、S等杂质较多。

锰矿石在海盆内不同深度的各个相及其厚度变化，取决于盆地底部的倾斜情况。在倾斜平缓的盆底地形上，上述各相可展布数公里，各相带逐渐过渡；而在陡倾斜的情况下，仅能延伸数百米，各相带迅速变化。

磷块岩的沉积矿床按麦凯尔维（1959）和谢尔登（1968）的洋流上升学说，含磷的沉积相变化，从深海处向海岸方向，从暗色炭质页岩、依次为磷块岩、燧石岩和碳酸盐相沉积。

盐类矿床的沉积，先是石膏进而岩盐，最后是钾盐沉积，湖盆面积逐步变小，三者可以形成近似同心圆状的相变规律。

上述相变分带，在矿产预测中极为重要。当首先发现了某一相带时，应该考虑到其它相带可能出现的方向和位置。有时开始发现的可能不一定具有多少工业意义，但却可导致其后更重要的发现。各个相带不一定发育很齐全，其工业意义也各不相同。如第二次世界大战期间，A.Г.别捷赫琴在奇阿图拉锰矿勘查，首先发现的是菱锰矿，按相变分带规律向海岸方

向找到了含锰更高的水锰矿和软锰矿相带。

另外如含铜的砂页岩矿床，向深处可以由碎屑岩相变为碳酸盐相，成矿元素可以从铜相变为铅锌。反之如发现含铅锌的碳酸盐相，应注意向近岸方向找铜的矿化。在东德的曼斯费尔德和澳大利亚的芒特艾萨均可见到这样的现象。

同一矿种表现为相变的矿床分带，不同矿种间则是成矿序列规律。如以上所述 Fe、Mn、P等一组矿化，均形成于温湿气候条件下，都分布在陆缘浅海区，大致的分布是从海岸向浅海，依次为Fe→Mn→P的沉积。在预测评价时要充分利用这些规律。

为了查明矿床在各种沉积建造内的时空部位，除了注意上述水平相变规律以外，在垂直方向也要进行岩相韵律旋回的分析，以及建造系列交替关系的分析，最终查明矿床在含矿岩系中的具体部位，以指导预测找矿工作和后续的矿区勘探工作。

第四节　区域地球化学因素分析

区域地球化学因素是控制内外生成矿的重要因素，在成矿规律研究中日益被重视和强调，被认为是控制成矿的内部因素。

区域地球化学特征是指一定区域中化学元素的分布和分配情况，以及迁集活动历史。即一个区域的地球化学背景，包括区域内元素（首先是主要成矿元素）的丰度、元素在空间分布上的区域性特点、元素的共生规律等，也包括不同地质作用和成矿作用过程中元素的迁集规律。与成矿预测和矿床评价直接有关的区域地球化学控制，应特别重视以下几个方面：

1. *元素的丰度*

化学元素在地壳各个部分分布是不均匀的，首先反映在元素区域克拉克值与地壳克拉克值对比上，表现出某一元素或一组元素在某一地区或某个地质体中相对集中。往往是地球化学性质相近的一组元素相对集中，构成特定的地球化学区（有称地球化学省）。这取决于区域岩石类型和地质发展历史。根据元素丰度资料，联系区域地质构造特点和成矿作用分析，可以进行地球化学分区，这对区域成矿分析和类比具有重要意义。一般在一个成矿区中，主要的成矿元素在围岩或有关岩浆岩中的丰度都比较高。如我国华南钨锡稀有金属成矿区，各时代的花岗岩侵入体的W、Sn、Be、Nb、Ta等元素的平均含量，普遍高于地壳中的酸性岩的平均含量。各时代花岗岩中，以与成矿有关的燕山早期花岗岩含量最高(图1-22)。

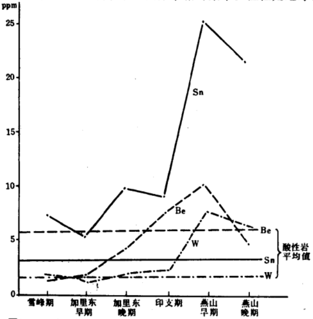


图1-22　我国华南各时代花岗岩的W、Sn、Be含量分布曲线

为了研究一个地区的元素丰度和划分不同的地球化学区，需要系统的区域化探资料。从主要的地球化学异常或地球化学剖面，可以初步分析主要成矿元素的丰度及其变化，分析矿化与主要地质因素的联系。从元素含量的变化，从正常场→低异常区→高异常区→浓集中心→工业矿化，分析元素多阶段逐步富集的趋势，直观地指出找矿远景区。还可以分析矿质的来源和主要的矿源层和矿带的空间展布特点。主要矿带和矿源层往往与主要的区域异常带相一致。应该强调指出，分析元素丰度变化的同时，要结合元素分配富集的基础理论，深入元素迁移富集的地球化学机制研究。

元素丰度分析，是许多新矿床类型发现的重要途径。根据元素的丰度变化和富集趋势，可以估价区域相对成矿远景和潜在矿产。如我国中南地区寒武系底部和志留系底部黑色页岩中（有的已成石煤），普遍富含Ni、Mo、V、U、P等多种元素，是很有意义的潜在矿产之一，已经引起有关方面的重视。

2. 元素分布的区域性

元素分布具区域性特点，往往一些元素集中于这个区域，另一些元素集中于另一区域，这与区域地质构造特点和地质发展历史密切相关。众所周知，在我国南岭地区有大片花岗岩分布，集中了大量的W、Sn、Be、Li、Nb、Ta等矿床；而到湘中湘南一带，酸性侵入体侵入于巨厚碳酸盐岩中，形成W、Sn、Pb、Zn等元素的富集；向西到湘西黔东一带，大片碳酸盐岩分布，则是Hg、Sb的富集区。在国外亦有许多类似的例子。有人认为元素在地壳中分布不均匀性，可能与上地幔元素分布的不均匀性有关系。

陈国达注意了不同的大地构造单元地球化学特点与成矿关系的分析，认为地槽区、地台区、地洼区不同地化特点和成矿特点与不同的岩浆活动和沉积建造有关。

地槽区岩浆活动强烈，早期以富镁质基性超基性岩为特征，中晚期以花岗岩类活动为主。元素的迁移特点表现为比较集中的造矿元素是Pt、Cr、Co、Ti、V、Fe、Mg、Mn、P、Au等，Sb、W、Sn、Mo、Pb、Zn也有一定富集。碳氢等气圈元素也有集中。

地台区岩浆活动以暗色岩建造为主，岩浆活动不强烈。风化沉积作用对元素的迁移分异起重要作用。气圈元素较地槽、地洼区更为发育。

地洼区作为一种过渡类型，有各种岩浆活动。花岗岩类以浅色矿物多，暗色矿物少，钾长石含量多，斜长石偏碱性，富含多种挥发分，形成丰富的W、Sn、Bi、Mo、Cu、Pb、Zn、Li、Be、Nb、Ta、Th、TR为主的多种矿床。

3. 元素的共生组合

元素的迁移富集常常是成群出现，表现为特定的共生组合规律（从元素到矿物、矿床的共生），这在找矿预测、矿床综合评价、确定矿化标志、化探选择指示元素等方面都有重要意义。造成元素共生的原因很多，主要归结为元素地球化学性质相近，它们有相似的离子半径、化学键型等，经历的地质作用和形成的物理-化学环境近似，叠加改造作用相近等。

区域元素组合与区域的主要岩石类型密切相关。如内生成矿过程中，与基性、超基性岩有关的是Cr、Ni、Co、Pt、V、Ti等经常共生；与中酸性岩活动有关的则是W、Sn、Mo、Bi、Li、Be、Nb、Ta、Fe、Cu、Pb、Zn等元素经常共生。在外生成矿过程中，在温湿气候条件下，则形成Fe、Mn、P、Al的共生；在干旱气候条件下则是各种膏盐和Cu、U的共生，彼此存在特定的相变规律。除上述主要成矿元素共生外，各类矿床中还有多种稀散元素的伴生。元素共生组合规律，在预测评价中主要应用在下列诸方面：

(1) 作为预测找矿的一种标志，当我们发现某种元素成矿，则应该注意可能有另一些共生元素矿床的出现，如Cu-Mo、Ni-Co、W-Sn-Mo、Hg-Sb-萤石等。

(2) 有些共生组分对成矿元素富集起着特殊的作用，如超基性岩中的镁对铬富集；中酸性岩中的碱质和挥发分对W、Sn、Bi、Mo等的富集都起重要作用。

(3) 利用共生规律进行矿床综合评价。多数矿床是多组分的综合矿床，随着采冶技术水平的提高，应注意可以综合利用的伴生组分的查定和评价，其中包括对氧化露头的评价。

(4) 利用共生的指示元素，扩大化探效果和异常评价。

(5) 利用共生元素及其比值的变化，用于研究矿化富集规律、成矿作用和矿床成因等多种目的。

各种地质作用过程中元素的迁移规律，是地球化学研究的重要内容，对成矿预测和找矿都有重要指导意义。要结合区域地质构造特征，深入对各种地质作用过程中元素分配和富集的基础理论研究，成矿作用过程实质上是成矿元素逐步富集过程。因此成矿规律研究要与成矿地球化学研究紧密结合，不断用新的地球化学理论指导成矿规律的总结。

第五节 古水文地质等因素分析

1. 古水文条件

重视地下水在成矿过程中的重要作用，包括对构造-古水文地质、古水文地质动力学、古水文地质地球化学、古水文地热学再造方法的研究，分析成矿期地下水的分布规律及有关地质作用，已经成为分析各种矿床成因和分布规律不可缺少的因素。苏联从60年代以来多次召开专门会议，已逐步形成一个重要的独立新学科。国内也有同志注意到一些内生矿床发育区，与含水率高的地层分布区相一致。

愈来愈多的研究表明，由于地下水的作用，可以使Pb、Cu、U、V、Fe等许多元素富集成矿。如有岩浆活动的参与则加速了成矿作用的进行速度。应重视外生地下水的参与对成矿作用的影响，再造古水文地质作用，为成矿预测提供新的预测准则。

实践证明大量的内生矿化也与地下水活动有关，为查明矿床的分布规律，应再造古水文地质条件，以评价地下水在成矿过程中的重要作用。为了再造古水文地质条件，一方面从古构造、古地理、古气候和区域地质发展历史方面入手，进行某一地质历史时期水文地质分区、确定水化学分带等研究；第二方面从地下水参与活动的产物，包括岩脉、交代岩、岩溶形成物等进行分析，确定当时的地下水成分、矿化度、温度、迁移途径、岩石含水性等。古水文地质条件应是矿化富集的重要条件之一。

2. 岩性因素

对内外生矿床都起作用的因素，不同的岩性及其配置，对内生矿液的运移、沉淀有影响，孔隙度大、透水性好的围岩，有利于成矿流体的循环，不同岩性的互相配置有利于构造的发生和形成。围岩的化学性质影响着蚀变交代作用的形成。

3. 变质作用因素

一方面是对变质矿床的控制作用，矿床富集在一定的变质相带中；另一方面要对大量矿床的变质改造作用进行研究。

4. 风化和地貌因素

这是砂矿、风化矿床的重要控制因素。地貌发育阶段和新构造运动分析对风化残积矿床和各类砂矿床的预测评价都有重要意义。

从上述各个控矿因素对不同矿床的控制作用分析中，可以看出控矿因素分析，是贯穿成矿规律研究的全过程，是成矿规律研究的基础。最后还指出应注意事项，作为本章的总结。

（1）控矿因素分析，是成矿规律研究的重要组成部分，首先应查明矿化与诸因素间的成生联系。它们之间的联系可归结为时间、空间、物质来源和成因机制等四个方面，这种联系一经确定，则该因素即成为预测靶区筛选的重要地质依据和前提，或称其为预测准则。

（2）控矿因素分析过程是将各个基础地质理论原理应用于矿产勘查实践的过程，要密切注视各个基础学科新的发展，并及时应用到矿产预测领域中来。

（3）成矿作用是地质作用的一部分，离不开特定的地质环境和背景，成矿预测在很大程度上是有利控矿条件的预测，这点对区域成矿预测尤其突出。

（4）成矿受多种因素的制约，但到一个具体的区域或矿床要分清主次，区别各自的控制作用，理论上讲各因素都起作用的地方应是成矿最有远景地段。各因素对成矿控制是分级次的，即各因素在不同范围内，其控制作用是不同的（参阅图1-23）。要逐级查明其对成矿控制，从而更有效的指导预测。

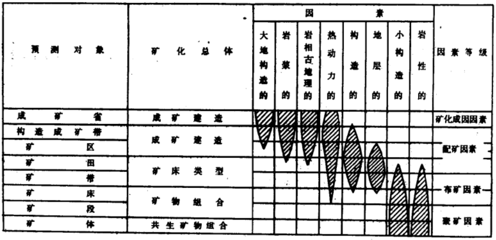


图1-23 不同种类控矿因素的影响水平示意图

（据П.А.舍赫特曼等，1979）

（5）不同类型矿床，主要的控矿因素不同，在查明主要控矿因素基础上，建立成矿模型，指导预测找矿实践。

参考文献

［1］叶连俊，1979，沉积矿床成矿时代的地史意义。国际交流地质学术论文集，第三集。

［2］卢作祥、范永香等，1980，区域地质测量野外工作方法，第三分册。地质出版社。

［3］伊·阿·巴斯科夫，1981，成矿规律研究中的古水文地质分析，沈照理译。地质出版社。

［4］普·阿·舍赫特曼等，1982，热液矿床详细构造预测图，石准立等译。地质出版社。

［5］弗·伊·斯米尔诺夫，1982，矿床地质学，周超凡等译。地质出版社。

［6］范永香，1983，成矿预测研究中值得重视的几个问题。地质与勘探，第六期。

［7］范永香等，1984，山东玲珑金矿田西山矿床断裂构造控矿规律研究。黄金，第七期。

［8］范永香，1984，初论内生金属矿床矿区地质预测的主要途径。地球科学，第四期。

［9］王功恪等，1984，全球巨型构造体系与成矿域的划分。地球科学，第四期。

［10］米·伊·伊齐克松，1985，太平洋区成矿分带，刘浩龙等译。地质出版社。

［11］В.И.Сипрнов,1957,Геолосциескце Основы Поислов И разведок рудных месгорожденцй· Московското Университета.

［12］В.М.Крейтер,1964, Поиски ц разведка Месторожденцй Полезных ископаеных.(нелра) Москва.

［13］В·И·Смирнов,1975, Проблемы Металлогениц Областей тектоно-магматцческой Актцвцзащий。издателбство（наука）Москва.

［14］А.Д.Щеглов,1980, Основы металлогенического аналцза.（недра）Москва.

［15］В.А.Голубовский,1983, Формацconный аналцз Сложных регцонов, Москва（недра).

［16］P.Routhier, 1983, Where are the metals for the future?（BRGM）

第二章　矿化信息研究

矿化信息，是指示矿化存在的各种显示和标志，包括各种直接或间接指示矿化存在或可能存在的一切线索。当这些信息与矿化的联系一经确定，则该信息即成为重要的预测标志。

成矿规律和成矿预测研究中，要深入对各种矿化信息的研究和评价。各种找矿方法，实质上是从不同的侧面来发现、研究、评价不同的矿化信息。一个地质人员对各种矿化信息的识别、认识水平，对矿产的预测和发现起重要作用。矿化信息研究要与前述控矿因素分析紧密结合，不断提高预测水平。

目前矿化信息研究，正向宏观和微观两个方面深入发展，随着找矿难度的增大，各种间接信息的判释及其与矿化内在联系的分析，并力求进行定量分析，建立模型，是值得重视的方向。

按照矿体被剥蚀出露程度，可以大致分为三种情况：

(1) 矿体直接出露地表，地表可见到矿体露头和各种蚀变标志，周围可以见到各种矿产分散晕；

(2) 矿体未出露地表的浅部矿床，地表可见各种蚀变带和物化探异常，包括各类盲矿体和被掩盖的矿体；

(3) 深埋地下的矿体，地表无明显显示，个别情况下可见到物探异常，一般只能从地质上予以推断（依据构造、地层或岩体进行推断）。

上述三种矿体，在地表显示不同的矿化信息，愈是深埋的矿体，矿化信息愈弱，发现愈是困难。

现将重要的矿化信息分为四类，分别简述于后：

(1) 遥感地质信息，主要介绍从卫照、航照获得的找矿信息；

(2) 矿化露头的地质信息，包括各种矿化露头铁帽、近矿围岩蚀变等；

(3) 地球化学信息，主要包括成矿元素和伴生元素的各种化探异常等；

(4) 地球物理信息，包括重力、电磁、放射性、热流值等异常的分析。

第一节　遥感地质信息分析研究

遥感技术自50年代以来在国外发展很快，近10年来已被广泛应用到地质调查各个领域，形成遥感地质找矿方法。即用遥感仪器在远距离（借助于卫星或飞机）不接触地质体的情况下，通过摄影和接收，记录地质的电磁辐射信息，经过数据处理，变成人眼可以直接识别的图像，从而对地质体进行探测和识别的一种综合技术。目前我国以卫星影像、航空照片应用最广，下面分别叙述其应用特点。

一、卫星影像遥感信息分析研究

随着航天遥感技术的出现，可以把地球作为一个整体进行观测研究。卫星影像是最基本的遥感资料。目前虽然卫星影像尚难于直接找矿，但广泛应用于控矿因素分析、地质背景研

究，特别是在区域地质调查、构造研究上应用显示出广阔前景和优越性，各国都在竞相从事这方面的研究，这与它的一些独特优点有关。

（1）用卫星影像对地质现象分析，具有真实性强、信息全、视野广阔、面积大、概括性强、易于了解概貌的特点，可以直观进行地质解释。由于其视野广阔，很易反映全貌，克服现有地质资料的局限性，这对掌握地质构造特点是非常有益的。如了解各个大地构造单元之间的关系，了解各大陆间的边缘形态、嵌合关系，对地质易于得到总体认识。如美国亚利桑纳、新墨西哥州的铜矿与断裂系统关系密切（两个州的Cu储量占美国55%），在卫星影像上清晰可见，故主要用在大面积远景区圈定上。

（2）利用各种地质构造现象在卫星影像上的“表面效应”，对各种地质现象有一定的“透视”能力，提供大量新的地质资料，从而分析隐伏、半隐伏的和基底的地质构造特征，从断裂中地下水的热辐射作用、植被情况、地貌水文特点，反映了色调差异，利用影像追踪，特别是在线性构造分析研究上具有很好的效果。卫星影像的“透视”能力与隐伏地质体的表面效应有关，包括地质体表面的物质组成、粗糙程度、风化程度、含水性、植被情况等。实质上是地貌景观的分析（地形、水系、地下水活动、植被等）。另外地热、地化、地磁异常均有所反应。这种表面效应提高了卫星影像在地质勘查中应用的价值。如美国埃森石油公司，选择了俄克拉荷马和德克萨斯州西部的阿拉达柯盆地，从已知到未知对比研究隐伏含油构造，在深2400—3600m以下，发现地貌色调差异76处，与油气田相符59处，吻合率70—80%。另一组卫星影像发现异常57处，其中42处与已知油气田相符合。有的公司发现圆型异常与盐丘一致。

（3）具有很高的效率，用该法可以比较快的选定靶区，很快投入野外检验。可见卫星影像和超高空观测可以提高对地质体探测深度，可以反映出更多的隐伏构造和深部地质构造，如分布很广的环形构造，最近引起了人们的注意。

（4）利用卫星影像对区域矿产进行远景评价。如从卫星影像解释发现一些隐伏断裂；对火山作用的全貌有了详细了解；对全球性超基性岩带也有了新的认识，导致埃及沙漠地区大铬铁矿的发现；对全世界中新生代沉积盆地的全面了解，有可能对世界石油地质储量进行预测；对水下和浮土下的地质特征和成矿远景的认识均有提高。航天遥感观测还具有可反复进行观测的特点，随着遥感技术水平的提高，必将发挥更大的作用。

卫星影像现在已被应用到工农业生产与国防军事各个领域，影像提供的信息面很广，但限于技术水平，目前在矿产预测中主要应用，以下述几个方面为主：

1．分析研究成矿地质背景，间接进行成矿预测

通过卫星影像的解释，广泛用于区域地质调查、各种地质填图、检查各种地质图件，分析成矿规律，主要从各种地质现象的不同自然景观和电磁波信息，在卫星影像上以不同的色调、形态、大小、结构、图形、阴影等反映出来。从这些方面分析（判读解释），对了解以下几方面的问题是卓有成效的：

（1）了解区域构造格架：区域断裂反映为一系列线形构造，表现为线状色调和同色调的界面，有深浅、强弱、粗细、长短、隐显之分，从而是识别各级断裂构造的重要标志。有些隐伏、半隐伏的构造都可以进行检查，从特殊的水系、色调、地形等可以判定隐伏构造的存在。线性构造还包括地层产状、不整合面、各种断裂裂隙、基底断裂等。各种侵入体、火山活动和各种盆地往往表现为各种环形构造影像。一个区域的构造格架从卫星影像可以一目了然。实践证明通过卫星影像和地质图件的结合，可以提高地质图件的质量和精度。

(2) 对地层岩石特征进行解释：基性超基性、酸性和碱性岩浆岩三类不同的岩石，影像色调有明显的不同。酸性、碱性岩色调浅，而基性、超基性岩色调深，在图形上表现为圆形和不规则的圆形。各种火山岩和沉积岩以不同的产状可以分开。具有条带状特征的变质岩，识别较难，故要建立可靠的解释标志，并要进行野外验证检查。

(3) 围岩蚀变特征的判识：往往表现为在侵入体周围具有一圈色调不同的晕圈，与侵入体渐变过渡，要区别属那种蚀变要进行实地调查。

(4) 地貌特征的判识：坚硬的岩石组成山脊、陡坎，而软的岩层则成负地形。对隐伏断陷盆地、洪积扇、古河道等识别有利于砂矿和隐伏砂矿的普查。

2．编制成矿预测图，大面积的圈定成矿远景区，直接指导成矿预测

通过主要控矿因素分析和各种矿化标志研究，从已建立的成矿模型（确定哪些因素控制），可以指明最有利的成矿部位，指明矿带的可能范围。特别是象斑岩铜矿之类，可能成群成带出现的更为有效，在矿带上可以发现隐伏矿床。有关应用的报导愈来愈多，方法和技术也在不断改进和提高。如赣南西华山—杨眉寺地区发现一系列环形影像，是构造-岩浆的产物，可能指示深部盲矿的存在（图2-1）。

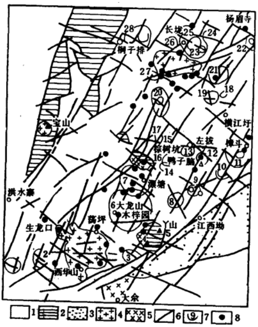


图2-1　西华山—杨眉寺地区环形象、线性断裂解译略图
（据钟南昌等，1981）
1—震旦—寒武系；2—泥盆—二叠系；3—第三系；
4—燕山期花岗岩；5—海西期花岗岩；6—断裂；
7—环形影像及编号；8—脉状钨矿床（点）

我们在山东招（远）—掖（县）金矿带，通过航卫片图像处理和解译，也发现了一系列环状构造，已知重要金矿田分布在环形构造的边缘和内侧，环形构造成为区域预测的宏观构造前提。

美国应用卫星影像分析科罗拉多地区线性构造和弧形构造，确定与构造有关的成矿远景地区，圈定了直径为14km²的10个远景预测区，按成矿条件，远景区分为三级。这些地区是线性构造密集，并与圆形构造的火山岩体相交接的部位（图2-2）。结合地面资料，有5个是已知矿区。

美国加州海岸山脉汞矿带卫星影像揭示了新的线性构造与矿化的关系，发现了新的矿带。大约有100个汞矿群集中在21个地区，过去对控矿构造了解不详，通过卫星影像解译，发现这群汞矿床分布与斜交于圣安德烈斯断裂系NWW向构造体系密切相关，汞矿群呈NWW向带状分布（图2-3）。

另外在美国科罗拉多中部贵金属和贱金属分布区进行了试验，该区成矿主要受断裂控制，依主要线性和环形特征构造选出十个找矿远景区，每个远景区约165km²，可以把原来33500km²的找矿区，缩小到10个165km²找矿远景区。从而加快了找矿速度，节约了人力物力。

类似的例子很多，如墨西哥北索诺拉斑岩铜矿区，通过控矿构造分析扩大了矿区的远景。对阿拉斯加和加拿大西部进行过区域成矿预测。在亚利桑那、新墨西哥州和墨西哥通过



图2-2 美国科罗拉多地区卫星影像的线性构造和环形构造及根据卫星影像圈定的10个找矿远景区（数字表达远景区优先顺序）

（据S.M.尼科拉斯）

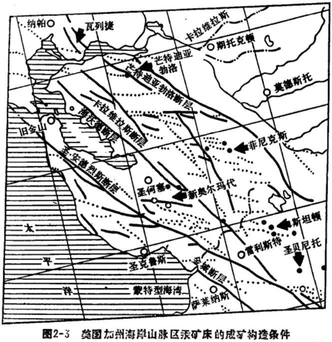


图2-3 美国加州海岸山脉区汞矿床的成矿构造条件

（据朱亮璞等，1981）

研究，发现矿带分布和NE向的构造线一致，并且位于NE向和近EW向构造交汇处，从而指明了找矿方向。

苏联利用卫星影像在西伯利亚寻找与金伯利岩有关的金刚石，通过卫星影像解译，圈出被暗色岩覆盖的岩筒，从而指导找矿。此外在找铁矿、铝土矿、石油、铀矿等方面也做过成功地试验。

我国利用卫星影像编制各种中小比例尺（小于1：20万）地质图，可以大大提高图的质量和精度，丰富了图的内容，提高了地质认识。尤其对构造可以提供更多的资料，如石油部系统对华北平原、陕甘宁、塔里木等地构造解译、对四周的主要断裂系统、中新生代盆地构造，都提供了丰富的资料。有关省区对重要的区域性断裂构造进行解译，获得了可供参考的资料。不少省区已经在卫星影像解译基础上直接进行成矿预测，划分出有成矿远景的地区。其中以各种线性构造对内生矿控制最为重要，而各种面状信息对外生沉积矿床和油气预测最为重要。

冶金系统曾多次召开会议，交流推广遥感技术用于找矿预测的经验。认为卫星影像的地质解译在研究区域构造格架，探索矿产分布规律和成矿远景区的圈定方面有突出的作用。围绕铜铁矿的预测，鞍（山）本（溪）地区、宁芜、苏皖、康滇、赣东北、秦岭等地区的工作，都为进一步找矿指出了方向或提供了线索。主要是对断裂构造和基底构造认识

的提高，并直接指导了找矿和预测。如鞍（山）本（溪）地区，从卫星影像结合已知情况，在分析构造基础上，确定了找鞍山式铁矿的远景区。认为鞍山—本溪块陷是有远景的地区，因矿层保存较好；而抚顺—新滨地块隆起区，有利于成矿的中上鞍山群已被剥蚀，海城—复县地块隆起区，由于上覆辽河群太厚，矿层可能埋深较大，无实际找矿意义。辽阳短轴向斜，庙儿沟短轴背斜的翼部及盖层之下，是找盲矿的有利地段；已知矿带的延长部分，特别是关门山-樱桃园矿带和大孤山-东西鞍山矿带有向北西或向西延长的迹象。

陕西冶勘公司对秦岭和西天山卫星影像的初步研究，对环形构造可以分为正性和负性两种。前者呈圆形、椭圆形的凸形体，其直径多小于100km；而负性环形构造多呈圆形凹形体，规模较大，直径从数百到数千公里。负性环形构造中常包含一些小的正环形构造，且从边缘到中心，地层由老到新也呈环状展布。负性环形构造具有和外面不同的重磁异常，推测是地球形成初期原始构造痕迹一些储油气的环形构造，一般边界色调较暗，或呈暗色晕圈过渡。隆起的正性环形构造，以椭圆较多，多数线性构造不穿过其中，一般中心地层老边部新，重磁异常亦呈环形分布，内部有某个方向断裂系统，推测是地球内力和岩浆活动的产物。有的是盖层下隆起的反映，有的是岩浆通道。如宁芜铁矿在圆形构造的边缘。甘肃北山铁铜矿床在环形的边部与不同方向的线性构造交汇处。而苏鲁皖地区，如金岭铁矿、宁芜铁矿都与环形构造一致，这是因为铁矿与侵入体有关，环形构造与侵入体一致。因此一些矽卡岩矿床、岩浆矿床都与小型环状构造有关。而层控矿床则分布在中型环形构造边部，有一个或二个方向的线性构造与之复合的部位。

综上所述，卫星影像在成矿预测中的应用，目前在构造解译方面应用较多，效果很好，其中尤以线性构造的解译最为重要。从解译方法上首先是目视判读，假彩色合成和密度分割等。进一步则是应用各种图象处理技术。不难看出，卫星影像解译是查明一个地区的地质构造特征，并与基底和深部构造相联系，对各种矿产的预测是十分重要的手段。

二、航空遥感信息分析研究

航空遥感技术应用矿产预测评价，从最简便的航空目测到应用常规的航空摄影，目前已普遍应用彩色航空摄影和非可见光航空摄影（红外、紫外航空摄影及激光成像）。为矿产预测提供了各种有用信息。其中航空照片是航空遥感的最基本资料。一般是在前述卫星影像解译基础上，对局部有成矿远景区段，开展大中比例尺的航空遥感工作，其技术方法二者极为相似。航空遥感方法更为详细深入。目前在矿产经济中的应用，主要归结为以下几个方面。

（1）直接地空中观测：专业人员可以直接在飞机上用肉眼和望远镜等对地面矿产地质构造等直接进行观测，可从不同方向和飞行高度对工作区进行观察分析，可以发现标志明显的矿床。在地面通行条件困难地区，效果尤为显著。必要时还可以与地面检查相配合进行。

（2）利用航空照片进行成矿条件分析：通过航空照片的解译，进行地质填图，大大提高了工作效率和质量。对工作区的地层岩石组合和分布、构造特点的解译，可以较卫星影像取得更详细的资料。

（3）对各种找矿标志进行解译：各种矿产的主要标志，包括原生矿产露头、矿床氧化露头（铁帽）、围岩蚀变、某些植物标志、旧的采冶遗迹等。有的标志明显的矿床，直接指示矿床的存在。如巴西吉腊贾斯山的铁矿、澳大利亚的铁、铀矿床、美国的斑岩铜矿床的发

现，航空遥感技术，发挥了重要的作用。我国在石油勘查、钨锡矿床的预测也取得了良好的效果。特别是与区域地质填图、物探、化探工作的紧密结合使用，效果更好。原生矿床露头，当矿体的颜色、物理化学性质与围岩有显著差异时，在分辨率高的航空照片上可以识别，主要根据照片的色调、微地貌特征进行识别。多数黑色金属和硫化矿床、煤矿等矿体露头色调较深，有些矿床蚀变和风化后退色则为浅色。一些近地表易风化的矿床，易成槽沟或条带状负地形，而与石英脉和伟晶岩有关的矿床，则常成正地形。有的含油气圈闭构造，有时呈一种浅色而亮的雾状异常。

一些硫化矿床的氧化露头，常有灿烂颜色出现(暗红、鲜红、棕色、褐色等)。为此，可以用多波段假彩色合成和比值增强图像处理技术予以识别。或采用热红外成像方法等，以提高找矿效果。近矿围岩蚀变是各种内生矿床最为重要的预测标志，蚀变岩石与围岩物理机械性质或结构构造的差异，呈现不同的微地貌特征。有时颜色发生变化，而在遥感图像上出现相应的变化。有时在矿床露头分布区，植物群落发生明显地变化，亦可作为预测标志。

旧的采矿遗迹，在航空照片上常呈现斑点状展布，是重要的直接找矿标志。

上述简要述及遥感地质信息在矿产预测中的应用梗概，随着遥感技术水平的提高，必将在矿产预测中发挥愈来愈大的作用。

第二节　矿化露头的地质信息研究

一个矿床的发现往往是从极为平凡的矿化标志认识评价开始的，所以要求找矿人员善于识别评价地表发现的各种矿化标志。随着找矿深度和难度的增大，除了深入进行各种高分辨率的物化探方法和仪器研究外，最根本最重要的方向仍是对各类常见矿化标志的深入研究。其它信息研究成效有赖于和地质信息的有机结合，迅速查明各种信息与矿化的内在联系。找矿的对象仍是以找寻埋藏不深、近地表的矿床为主要对象。工作部署上的“就矿找矿”仍发挥重要作用。在注意新矿床类型发现和预测的同时，已知的主要工业矿床仍然是主要的预测找寻的目标。为此在预测找矿时，应特别重视各类矿床地表露头的识别、矿化类型的评价、各种与矿化有关的矿物岩石的标志的研究。常见的重要矿化信息：包括各类矿化露头（原生矿化露头、铁帽及氧化露头）、围岩蚀变、矿物标型特征、古时采冶遗迹及特殊地名等等。

一、原生矿化露头及矿床类型研究

直接出露地表的矿化露头，是矿床存在的最直接标志。在矿化露头附近的山坡和溪流中，可以见到矿砾和矿砂，找矿时往往是先发现矿砾和矿砂，溯源追索，最后发现原生露头。对矿化露头要查明产状延深；对矿化的物质组成要分析鉴定；对大致规模要尽快查明；对产出的地质背景要进行综合分析；对矿化的可能类型要做出判断；对其找矿意义要进行深入评价。

矿床分布不均匀性规律，是成矿规律研究中要解决的最基本问题，按照B.И.克拉斯尼柯夫的统计，大型矿床只占矿床总数的7%，而储量占65%，开采量占55%；中型矿床占矿床总数的23%，储量占26%，开采量占30%；小矿占矿床总数的70%，而开采量只占16%。在普查评价过程中，大量是矿化点，只少数经过工作证实是工业矿床，根据A.П.索洛沃夫

的资料，在所存的矿化点中，其中意义不大的矿点占85%，12%是小型矿床，2%是中型矿床，只有1%是大型矿床。统计表明，1/2储量在为数不多的大矿中，中型矿床只占储量的1/3,小矿只占储量的1/5。最大含矿区域的面积，只占大陆面积的百分之几。上述资料均说明，工业矿床只是矿化点中极少的一部分。因此我们要一开始将注意力集中在最有远景的矿床类型上。矿床的成因类型和工业类型在预测评价中具有重要意义，即在矿床勘查评价的初始阶段，要充分利用矿床类型的知识进行比较评价。成因类型是工业类型划分的基础。矿床工业类型的划分离不开矿床形成的地质条件和工艺利用特点两个因素。按照B.M.克列特尔的意见，作为工业类型的矿床，它的总开采量至少要占世界开采量的1%以上，才被认为是一个独立的工业类型。即把某种矿产的主要来源在工业有重要作用的矿床类型称为工业类型。目的是突出有重要工业意义的矿床类型。以铁矿为例，它的成因类型多达十几种，但就世界范围，工业价值最大的是沉积变质型（占世界总储量的60%）、海相沉积型（占30%）和热液型、岩浆型等四五种为主。当然还要考虑到各国不同的资源结构和资源形势。矿床类型的确定，是矿床评价的重要依据之一，是矿床预测类比的重要依据，是露头评价中贯穿始终的重要问题，应予极大的重视。在强调预测中矿床类型确定的重要性同时，还应强调重视新矿床类型的发现。已有矿床工业类型，是目前技术经济条件下经验的总结，无疑是不断发展变化的，新的矿床类型不断被发现。A.Д.舍格洛夫在论及区域成矿规律和预测时，多次强调注意新矿床类型的预测的重要性。而且地球化学方法是发现新矿床类型的重要方法。当元素的共生组合发生变化时，可能是新矿床类型发现的最初标志。如根据Sn-Au组合而发现了新类型银矿；Sb-Hg-W组合发现含辰砂、辉锑矿的新类型钨矿床；W-Co组合而发现了新类型钴矿床。新类型矿床往往出现在不同时代、不同类型矿带交叉处，矿化多期次多阶段发育处。根据上述理论分析，我国康滇地区、秦岭地区、阴山地区是最有希望发现新类型矿床的潜在地区。

对原生矿化露头的研究评价中，要尽可能多的取得定量资料，以便在编制预测图中深入类比分析。必要时要配合工程揭露和物探、化探勘查工作。

二、铁帽和氧化露头研究

露出地表的矿化，经过风化淋蚀，将其中易溶组分带走。稳定组分在地表氧化带相对富集起来，可形成风化壳型矿床，如基性超基性岩地区的红土型风化壳镍矿；中酸性岩地区的高岭土矿床。对于分布很广的各种金属硫化矿床，经风化淋蚀后，在地表形成以Fe、Mn氧化物和氢氧化物为主及硅质、粘土质混杂的堆积，并多位于矿床氧化带的最上部，通称为“铁帽”。各类金属硫化物矿床，往往在近地表部分形成硫化矿体的氧化带、实际上是金属硫化矿体上的特殊风化壳。它的形成经历了一定的发展阶段，往往有明显的分带规律，造成成矿元素的迁集，使原生硫化矿床遭受了改造，对发现和评价各类金属硫化矿床具有重要意义。有时将有色金属矿床的铁帽，误认为是铁矿床。亦有菱铁矿的氧化露头误认为是硫化矿物的铁帽。为了正确评价被氧化了的硫化矿床，应深入研究铁帽和硫化矿床的氧化带。对于一部分金属矿床（Cu、U、Ag、Fe、Au的硫化矿床等），在氧化带特定部位可以造成这些金属的次生富集，从而提高了矿床的工业价值，这在氧化露头评价中也应引起重视。

（一） 硫化矿床氧化带的形成过程

以硫化物为主的金属硫化矿床，在地下水和氧的作用下，在矿化水中富含自由氧和

H_2SO_4、$Fe_2(SO_4)_3$等作为溶解剂的条件下，将硫化物改造成各种硫酸盐。硫化物大部易溶于酸性水，加之不同硫化物之间存在"电化学反应"，更促进了氧化作用的加速。形成各种硫酸盐，易溶的组分进入潜水而流失。难溶组分则保留在原地。整个氧化带的发展过程，是从硫化物改造成在氧化带稳定矿物的过程。大致经历了从硫酸盐到碳酸盐、硅酸盐，最后变成难溶的盐类或氧化物与氢氧化物。在整个氧化过程中水介质pH值从低到高，从酸性到中性到弱碱性。以各类金属矿化物矿床中常见金属硫化物的变化为例，说明上述变化的一般规律：

（水绿矾）（针绿矾）（黄铁钾矾）（褐铁矿）

$$FeS_2 \rightarrow FeSO_4\cdot 7H_2O \rightarrow Fe_2(SO_4)_3\cdot 9H_2O \rightarrow KFe_3(OH)_6(SO_4)_2 \rightarrow 2Fe_2O_3\cdot 3H_2O$$

|——强酸介质——|——酸性——|——弱酸、中性——|

（铅矾）（白铅矿）（磷氯铅矿）（钒铅矿）

$$PbS \rightarrow PbSO_4 \rightarrow PbCO_3 \rightarrow Pb_5(PO_4)_3Cl \rightarrow Pb_5(VO_4)_3Cl$$

|——酸性——中性——弱碱性——|

（皓矾）（菱锌矿）（异极矿）

$$ZnS \rightarrow ZnSO_4\cdot 7H_2O \rightarrow ZnCO_3 \rightarrow Zn_2(OH)_2SiO_3$$

|——酸性——中性——弱碱性——|

（胆矾）（翠绿磷铜矿）（孔雀石）（矽孔雀石）

$$CuFeS_2 \rightarrow CuSO_4\cdot 5H_2O \rightarrow Cu_5(OH)_4(P_2O_5) \rightarrow CuCO_3Cu(OH)_2 \rightarrow CuSiO_3\cdot 2H_2O$$

|——酸性——中性、弱碱性——弱碱性——|

各个具体氧化过程是复杂的化学变化过程，取决于气候条件、水介质条件、矿石组分、不同硫化物硫酸盐的氧化还原电位（Eh）、围岩条件等许多因素。以各类矿床中常见的黄铁矿为例，其首先变成硫酸铁，水解后变成铁的氢氧化物。

$$2FeS_2 + 7O_2 + 2H_2O \longrightarrow 2FeSO_4 + 2H_2SO_4$$

硫酸亚铁氧化成高价铁：

$$4FeSO_4 + O_2 + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2O$$

高价铁硫酸盐水解成铁的氢氧化物：

$$Fe_2(SO_4)_3,\ 6H_2O \rightleftharpoons 2F_2(OH)_3 + 3H_2SO_4$$

在干旱缺雨地区可以形成大量硫酸盐类矿物，如黄铁钾矾、叶绿矾、针绿矾、水绿矾、纤纳矾等，在我国西北一些硫化矿床的氧化带可以见及。其黄铁矿在氧化带的变化方程式为：

$$FeS_2 \longrightarrow FeSO_4 \longrightarrow Fe_2(SO_4)_3 \longrightarrow Fe(OH)_3 \longrightarrow Fe_2O_3\cdot nH_2O$$

FeS_2的氧化最终产物是褐铁矿和铁的氢氧化物。氧化过程中产生的H_2SO_4和$Fe_2(SO_4)_3$等提高了水介质的酸度，更加剧了氧化作用的进行。

黄铜矿、方铅矿、闪锌矿的氧化过程如下：

$$CuFeS_2 + 4O_2 \longrightarrow CuSO_4 + FeSO_4$$

黄铜矿亦为高价硫酸盐分解：

$$CuFeS_2 + 2Fe_2(SO_4)_3 \longrightarrow CuSO_4 + 5FeSO_4 + 2S$$

遇有碳酸盐，形成孔雀石和蓝铜矿

$$2CuSO_4 + 2CaCO_3 + H_2O \longrightarrow CuCO_3(OH)_2 + 2CaSO_4 + CO_2\uparrow;$$

$$ZnS + 2O_2 \longrightarrow ZnSO_4$$

$$ZnSO_4 + CaCO_3 \longrightarrow ZnCO_3 + CaSO_4;$$

$$PbS + 2O_2 \longrightarrow PbSO_4$$

$$PbSO_4 + CaCO_3 \longrightarrow PbCO_3 + CaSO_4。$$

大量的硫酸作用于灰岩则形成石膏（$CaSO_4\cdot 2H_2O$），作用于硅酸盐则成黄铁钾矾[$KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$]$_7$。

$ZnCO_3$和$PbCO_3$在氧化带，二者溶解度有差别。$ZnCO_3$溶解度大，易被带走，$PbCO_3$溶解度小而大部留于原地。内生条件密切共生的铅锌二元素，在氧化带造成二者的分离。

不难看出，在一般的有色金属硫化矿床氧化带，常见的矿物组合是水针铁矿、针铁矿、水赤铁矿、赤铁矿、菱铁矿、白铅矿、铅矾、孔雀石、蓝铜矿、石膏、自然硫、黄铁钾矾、臭葱石、石英、石髓、蛋白石、粘土类等多种矿物的混杂。

（二）硫化矿床氧化带的分带和发育阶段

硫化矿床氧化带的形成通常分三个发育阶段。

（1）开始阶段：硫化物氧化和溶解，主要形成硫酸盐以及部分氧化物和氢氧化物，还有未被氧化的原生矿物。

（2）中间阶段：大量的表生矿物形成（量超过原生矿物），除大量硫酸盐外，还有硫酸盐氧化物、氢氧化物、硅酸盐等，一系列金属元素为硫酸盐所带出。

（3）最后阶段：原生硫化物几乎不存在，硫酸盐变少，以碳酸盐、硅酸盐、氧化物为主，当风化淋滤很深时，主要为二氧化硅、Fe、Mn、氢氧化物和氧化物的堆集。

整个发展阶段是彼此过渡的，溶体水介质经历由酸性到中性，最后到弱碱性的演化过程。

与氧化带发育有关，在氧化带剖面上，往往表现为一定的分带性。氧化带和次生富集带对于评价深部矿化和预测找矿具有重要意义。以常见的金属硫化矿床为例，表生分带大致分为三带（图2-4）：

（1）氧化物带：空间上大致相当于地下水渗透带，可分为三个亚带：

① 氧化亚带（即铁帽）：以铁锰的氧化物和氢氧化物为主，混以二氧化硅、粘土等。

② 淋滤亚带：以淋滤易溶组分为主。

③ 氧化富集亚带：厚度较小，仅出现在少数矿床，由于地下水面的降低使次生硫化物以氧化为特征。如铜矿中自然铜、赤铜矿等。

～～～～～（地下水面）～～～～～

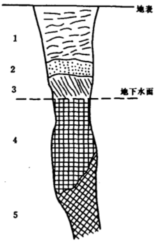


图2-4 硫化物矿床氧化带剖面示意图

（据张本仁等，1977）

1—氧化亚带（铁帽）；2—淋滤亚带；3—氧化富集亚带；4—次生硫化物富集带；5—原生硫化物矿石带

（2）次生硫化物富集带：大致相当地下水的流动带。从地下水面以下可达数百米深。矿石中大量组分转入溶液，并以原生硫化物产生反应。对铜矿床以烟灰状辉铜矿及少量铜蓝为特征，以次生铜的硫化物为主。矿石中各种交代结构发育，可以集中被侵蚀的氧化带中的大部分铜的次生富集，对铜矿评价有重要意义。对Ag、U、Au、Fe也有一定的意义。次生富集带的形成是氧

化产生的硫酸盐溶液被带到地下水面以下，在缺氧还原环境中交代原生硫化物而产生次生硫化物。

（3）原生硫化物带：在地下水面以下，相当于地下水停滞带。

上述各带的划分，对氧化带本身和深部矿床评价及矿石加工利用都有重要意义。矿床勘查时，要进一步依物相分析资料将三带界线予以圈定。

矿床表生变化的强度和深度，取决于气候、地下水动态、原生矿石组构、围岩条件、构造条件等诸因素的影响。以鄂东铜绿山矽长岩型铜矿床和甘肃白银厂黄铁矿型铜矿床二者比较，说明气候条件的影响而造成二者氧化带发育的不同特点（表2-1）。

表2-1　我国两个硫化物矿床氧化带的垂直分带和各亚带矿物分布情况比较表

一般垂直分带	鄂东某矽卡岩铜矿（温湿地区）			祁连山东端黄铁矿型铜矿床（干旱地区）		
	围岩及原生矿石	具体分带	各亚带矿物及特点	围岩及原生矿石	具体分带	各亚带矿物及特点
氧化亚带——铁帽	白云质大理岩。黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿。少量白铁矿、闪锌矿、砷黝铜矿，银金矿。 脉石矿物： 方解石、白云母、金云母、透辉石、石榴石、透闪石、阳起石、钾长石、蛇纹石、绿泥石、铁白云石	褐铁矿、赤铁矿亚带——铁帽	由褐铁矿、针铁矿、赤铁矿组成，保留未氧化的磁铁矿团块。含石英、玉髓、少量孔雀石、蓝铜矿、硅孔雀石。具蜂窝状构造，深度3～5m	细碧角斑岩、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、少量黝铜矿、磁黄铁矿、毒砂、白铁矿、胶黄铁矿。 脉石矿物： 石英、绢云母、绿泥石、方解石	褐铁矿、赤铁矿亚带——铁帽	包括以褐铁矿为主组成的铁帽、角砾状硅质铁帽、铁锰帽、除Fe、Mn氧氢化物外，硅质较高、伴生有孔雀石、氯铜矿、蓝铜矿、彩钼铅矿、铅矾、方解石、黄钾铁矾等。在铁帽之下的空洞中，纤钠矾、纤铁矾等发育。深度在20m以上
					黄钾铁矾亚带	氧化带次要组成部分。除黄钾铁矾外，混杂着褐铁矿、石英、重晶石及残留的黄铁矿。深度5～10m
淋滤亚带		淋滤亚带	由磁铁矿、赤铁矿组成，褐铁矿呈脉状及团块状充填在矿石空洞及裂隙内，形成淋滤式的富集铁矿石。深度3～25m		石膏、自然硫亚带	氧化带次要组成部分，矿物以石膏为主，自然硫次之。深度2～3m
		过渡带	位于现有潜水面上下。此段内有大量红色粘土充填裂隙，褐铁矿、赤铁矿吸附有Cu离子及肉眼看不见的氧化铜矿物		松散硫化物带	组成矿物主要为破碎、松散的黄铁矿。黄铜矿大部被淋失。深度1～2m
氧化富集亚带		氧化富集亚带	为氧化带的主要组成部分。磁铁矿与赤铁矿含量比近于1∶2，含有较多的孔雀石、蓝铜矿、自然铜、极少的黄铜矿、辉钼矿、斑铜矿。深10～30m		氧化富集亚带	组成矿物以块状黄铁矿为主，其中含大量次生辉铜矿。穿插成分有多量水绿矾、铁明矾、胆矾、叶绿矾、少量针绿矾-水亚铁矾、黄钾铁矾等深度20～25m，最深70余米

鄂东铜绿山矽长岩型磁铁矿-黄铜矿矿床处于温湿气候条件下，围岩为白云质大理岩。主要原生矿物是黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿等，脉石矿物以矽长岩矿物为主。氧化带发育深度60～90m，

最深达130～230m。从上而下分为铁帽—淋滤带—过渡带—氧化富集带—原生带。氧化带的物矿组成，主要为褐铁矿、针铁矿、赤铁矿、磁铁矿、孔雀石、蓝铜矿、自然铜、赤铜矿、石英、玉髓、含铁多水高岭石等。少量硅孔雀石、白铁矿、黑铜矿、含铜的锰土。

白银厂黄铁矿型铜矿，围岩为细碧角斑岩。矿石组成主要为黄铁矿、黄铜矿、石英、绢云母、绿泥石、次要矿物为闪锌矿、方铅矿、方解石，稀少的黝铜矿、磁黄铁矿、毒砂、白铁矿等，氧化带深度为30～70m。氧化带的矿物主要为褐铁矿、黄钾铁矾、水绿矾、纤钠铁矾、自然硫、石膏。次要的为赤铁矿、孔雀石、胆矾、铁明矾、石英等。少量氯铜矿、蛋白石、硬锰矿、软锰矿、黄铜矿、各种矾类矿物（铁矾、镁明矾、针绿矾、柱钾铁矾、绿钾铁矾等）。很少的白铅矿、彩钼铅矿和铅矾。

对比二者的特点，可以看出气候条件对氧化带发育的重要影响：

① 二者铁帽中均以褐铁矿、赤铁矿为主，而白银厂出现大量的黄钾铁矾带；

② 淋滤亚带鄂东以磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿为主，而白银厂出现大量的石膏和自然硫；

③ 氧化富集带在鄂东除Fe、Cu（赤铜矿和自然铜）外，其它元素多遭贫化，而白银厂在干旱条件下则出现铜的硫酸盐矿物（胆矾）和S（自然硫）、K、Na（黄钾铁矾等），Ca（石膏）、Mg（镁明矾等）的集中；

④ 白银厂干旱缺水、酸度高、故大量的硫酸盐矿物出现，一些高溶解度矿物组分，只有在缺水条件下才能存在，而在多水条件下都随水体而流失。鄂东则氢氧化物和碳酸盐阶段较为发育。

此外，青海锡铁山多金属矿和云南会泽铅锌矿的对比，亦显示了类似的特点。

（三）铁帽和氧化露头评价问题

矿体的氧化露头，当氧化程度较高时，可以被改造的面目皆非，很难识别。对铁帽和氧化露头评价时，首先要注意区分真假铁帽，有的非硫化矿体形成的铁帽，或被迁移后的铁帽，均无多大找矿意义。对硫化矿床的铁帽和氧化带，则要进一步评定其深部的矿化类型、矿种和矿石质量的好坏。对Cu、U、Ag、Au等矿种，还要分析氧化带剖面，分析次生富集带存在的可能性。

对铁帽和氧化带的评价方法，主要从以下几方面进行研究：

1．铁帽和氧化带矿物成分的研究

首先要注意残存的原生硫化物，有时要借助室内各种方法进行仔细鉴定才能发现。是原来矿种最直接的标志。

典型次生矿物的研究，如铜矿床在氧化带常见孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿、自然铜和各种铜的硫酸盐矿物，说明原生铜矿物已被氧化。闪锌矿氧化后生成菱锌矿和异极矿；方铅矿在氧化带形成铅矾和白铅矿；毒砂在氧化带形成臭葱石。要注意原生硫化物在氧化带被氧化的难易，易氧化的首先在氧化带消失。

南京地质矿产研究所李文达教授对长江中下游Fe、Cu、有色金属和黄铁矿矿床的铁帽做了系统研究，总结了对铁帽氧化带进行评价的极有意义的结论：

（1）在铁帽氧化带中含锰矿物的大量出现，说明原生矿为铅锌矿床，有重晶石出现也是铅锌矿床的特点。见到铅的原生物残余或次生铅矿物，只说明原生矿含铅，但不一定是铅矿床。

（2）铁帽氧化带中见到铁的氧化物和氢氧化物（主要是褐铁矿、针铁矿等），说明原生

矿中有黄铁矿、白铁矿、磁黄铁矿的大量存在，并可见到磁铁矿、石榴子石等原生残余。

（3）当氧化带见到自然铜、赤铜矿、孔雀石等，说明是铜矿床的氧化带，并且是次生氧化亚带，次生富集带可能遭到氧化。当硫酸盐出现时（水绿矾、胆矾等）说明原生硫化物（黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等）正在被氧化。当孔雀石、黄铜矿大量出现时，说明原生矿石中黄铁矿较少，否则酸度高，不易出现上述次生矿物。

由于氧化矿物很难鉴定，所以矿物成分和化学成分研究应互相配合。

2．铁帽和氧化带化学成分的研究

李文达教授指出，在长江中下游，根据铁帽氧化带中主要金属元素的含量和不同的指示性元素的组合，可以判定深部矿种和可能的矿床类型。依铁帽中铜的含量，基本上可以判别是铜矿还是黄铁矿或铅锌矿。一般含铜在0.2%以上者，多为铜矿床，而含铜0.1～0.2%者，可能为黄铁矿或含铜黄铁矿矿床。如含铜小于0.1%，一般为黄铁矿或铅锌矿床的铁帽。

铁帽中含铅锌大于1%者，一般为铅锌矿床，铜的含量大于铅锌总量，为铜矿的特征，铅锌总量大于铜的含量，则应为铅锌矿床。一般硫化矿床铁帽中均含有一定数量的Cu、Pb、Zn。

不同矿床类型其铁帽中元素的含量和组合，各自有一定的特点。矽长岩型铜矿床铁帽中元素种类复杂，普遍含Fe、Al、Ca、Mg、Mn、Cu、Pb、Zn等，并常有As、Ag、Au、Bi的伴生。而铅锌矿床则较铜矿床简单些。钙的含量高是矽长岩铜矿的特征；锰的含量高，是铅锌矿床的特征，钡锶的含量也较高。各类矽长岩矿床铁帽中含钨都比较高。

铁帽中不同元素的组合，反应了不同原生矿石类型：

原生铜矿石：铁帽中主要元素组合为Cu、Bi、Mo、Ag、Au，次要Pb、Zn、As。

原生为含铜黄铁矿矿石，铁帽中主要为Cu、Bi、Mo、As组合，Pb、Zn、Ag、U次之。

原生黄铁矿矿石：铁帽中主要为Co、As、V、Ti组合，Cu、Pb、Zn次之。

原生为含铅锌的铜矿石：铁帽中含Cu、Pb、Zn、Mo、Bi、As、Ag、Sb等。

原生为铅锌矿石：铁帽中含Pb、Zn、Mn、Ag、Ba、Sr组合，As、Cu、Sb次之。

一些研究者还注意到粘土矿物和某些次生矿物中杂质元素含量变化的研究。对阳新一带孔雀石中杂质元素进行单矿物分析，矽长岩铜铁矿床，氧化带的孔雀石中含Zn较高，大于1000ppm。而矽长岩型铜矿床其孔雀石则含Zn低，一般小于500ppm。氧化带中粘土矿物吸附了一些金属元素，依其种类和含量亦可帮助判定矿化类型。

3．铁帽的结构构造及颜色的研究

当脉石矿物稳定，硫化物被氧化而残留一些反映原生硫化矿物的孔洞，可以帮助推断原生矿物成分。当氧化很深时，往往出现再生结构构造，有的称为“指示构造”。多由硅质和褐铁矿等交织而成，空隙多为褐铁矿、粘土类矿物所充填，虽有不少文献报导其找矿意义，但情况复杂只有参考性意义。如蜂窝状指示原生方铅矿和黄铜矿的特点，等高线状指示黝铜矿的特点；细胞状、海绵状指示闪锌矿的特点。情况较为复杂，当风化淋滤程度很高时，多呈钟乳状，要配合矿物和化学成分研究以作参考。

铁帽的颜色变化，对判断原生矿化和氧化程度也有参考价值。

4．据铁帽氧化带对深部矿石质量进行评价

按不同金属元素在氧化带的地球化学性质可分以为四类：

（1）主要的造矿矿物在氧化带是稳定的。氧化带矿石质量可以代表深部矿石质量。有时还因围岩或脉石部分淋失，而使矿石组分相对富集。如锡石、铬铁矿、石英脉中自然金矿

床、铁矿床、钨矿床、汞矿床等属之。铂矿和锰矿在氧化带也很稳定。

(2) 原生矿石矿物不稳定，而次生矿物稳定。在氧化带矿物组成发生变化，但主要组分变化不大，氧化带基本可以代表原生矿石的质量。主要金属没有迁移出氧化带的范围，如铅、锑、铋、砷硫化矿床和铁、锰的碳酸盐矿等属之。这些硫化物分解形成稳定的碳酸盐或氧化物等留在氧化带，如铅形成白铅矿($PbSO_4$)、磷氯铅矿[$Pb_5Cl(PO_4)_3$]；锑形成锑华(Sb_2O_3)、黄锑华($Sb_2O_4 \cdot nH_2O$)；铋形成铋华($BiO_3 \cdot nH_2O$)、泡铋矿[$Bi_2O(OH)_2CO_3$]；砷矿床形成臭葱石[$Fe(AsO_4) \cdot 2H_2O$]、砷菱铅矿[$PbFe_3(OH)_6(SO_4)(AsO_4)$]；雄黄AsS为雌黄($As_2O_3$)所交代。铁锰的硅酸盐氧化后，二价锰碳酸盐变为四价氢氧化物。菱铁矿氧化成氢氧化铁。钛铁矿变为锐钛矿或金红石等。

(3) 原生矿石矿物和次生矿物在氧化带都不稳定。一般氧化带与深部差别很大，要具体分析其变化规律和分带。包括Cu、Zn、Ni、Co、Mo、U等矿床。如闪锌矿在氧化带被分解为易溶的硫酸盐($ZnSO_4$)，很易随潜水运动而被带走。但当与碳酸盐类相遇时，可以形成在氧化带稳定的菱锌矿。故当矿床围岩为碳酸盐时，可以在矿体的侧旁形成以菱锌矿($ZnCO_3$)、铁菱锌矿[$(Fe \cdot Zn)CO_3$]、异极矿[$Zn_4(OH_2)(Si_2O_7) \cdot H_2O$]、水锌矿[$Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$]为主的次生不规则矿体。铅锌在内生条件下密切共生，而外生条件下二者常常分离。铜矿床在氧化时，遇到碳酸盐介质，可以形成稳定的次生含铜碳酸盐，如孔雀石[$Cu(OH)_2Cu \cdot CO_3$]、蓝铜矿[$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$]。当硫酸铜溶液遇高岭土或硅酸盐介质时可以形成硅孔雀石($CuSiO_3 \cdot 2H_2O$)。铜在氧化带亦可形成自然铜的氧化物如赤铜矿(Cu_2O)、黑铜矿(CuO)。当条件适合时，氧化产生的硫酸铜溶液渗流到潜水面以下，在缺氧条件下，可以产生次生铜的硫化物[辉铜矿、铜蓝(Cu_2S、CuS)]，构成具有重要工业意义的次生硫化富集带。常见硫化物其反应如下：

$$5FeS_2 + 4CuSO_4 + 12H_2O \longrightarrow Cu_2O + 5FeSO_4 + H_2SO_4$$

$$CuFeS_2 + CuSO_4 + H_2O \longrightarrow Cu_2S + FeSO_4 + H_2SO_4$$

$$Fe_{1-x}S + CuSO_4 \longrightarrow CuS + FeSO_4$$

$$Zn + CuSO_4 \longrightarrow CuS + ZnSO_4$$

当潜水面下降，次生硫化物再次被氧化，可以形成含铜更高的次生氧化物赤铜矿、黑铜矿和自然铜等。铜矿床的次生硫化物富集带中，铜含量可以高出原生矿石2～3倍，较氧化带可以高出十几倍。条件有利时，特别是潜水面不断下降时，可以形成厚度达500m以上的巨厚次生富集带，具有重要的工业意义，可以使原来的贫矿或矿化变成很富的工业矿体。如西藏玉龙斑岩铜矿，就发育有含铜高达2.5～5%的次生硫化物富集带。此外，对Ag、U、含硫化物金矿等亦要注意是否有类似的次生富集带的存在。

(4) 原生矿石中微量分散组分，在氧化带稍有富集。对原生矿石不是特征的金属元素，如铅锌矿床中Mo、V的出现，不能代表原生矿化的组分和质量。如铅矿床的氧化带出现的钼铅矿($PbMoO_4$)、钒铅矿[$Pb_5Cl(VO_4)_3$]。在氧化带Mo、V可以达0.1～1%，而原生矿石中不及0.01～0.001%，所以Mo、V不是铅矿原生矿石固有的组分，在评价时应予注意。

通过铁帽和氧化带的研究，对深部矿化进行评价，是个涉及许多因素的复杂问题，加之，次生矿物不易识别和鉴定，更增加了这一工作的难度。应该指出，露头研究辅以人工揭露，对正确评价深部矿床是必要的。

三、矿物标型特征和近矿围岩蚀变研究

大量的矿化信息存在于矿物岩石之中。近年来为了不断深入研究预测信息，不断扩大找矿深度，重视了与矿化有关的矿物学标志的研究，并取得了重大的进展。成因矿物学、找矿矿物学、蚀变岩石学的研究，在预测找矿中发挥了重要的作用，正在逐步发展成为一门新的边缘学科。对蚀变围岩与矿化的联系，早已引起了矿产勘查工作者的注意，近年来对不少矿床深入分析其形成机制，结合矿床地球化学研究，建立了各种蚀变模型，在矿床预测评价中发挥了重要作用。

（一）矿物标型特征的研究

矿物学找矿方法首先是从重砂找矿方法发展起来的。随着矿物研究的深入，鉴定技术水平的提高，在矿床预测评价中矿物标型特征研究显示了广阔的应用前景。

矿物标型特征研究，主要是研究在不同物理化学条件下形成的同种矿物存在物理化学方面的差异。也就是从同种矿物的物理性质、化学组成等微小差异，研究查明其不同成因特点，并用以为找矿服务。由于测试技术水平的不断提高，这种研究正在不断深入。许多研究者指出，大量有关地质作用过程的信息存在于矿物之中，表现为矿物的标型特征的变化。所以这一研究，具有广阔的应用前景。

1．矿床预测评价过程中矿物标型特征研究的主要任务

目前从矿物标型特征研究，解决预测找矿中的问题，主要用于确定找矿远景区提供地质依据，可以归结为以下几个主要方面：

（1）预测矿化类型：从天然或人工重砂及矿化露头的矿物学研究，预测工作区发育的可能矿化类型，在评价矿点和圈定预测远景区时具有重要意义。矿物的不同标型反映矿床成因特点已经积累了许多资料。不同成因类型的矿床具有不同的工业意义。这是矿床工业类型划分的基础，也是类比预测很重要的一个方面。如不同成因类型矿床中的磁铁矿，其化学组分差别很大，与基性超基性岩有关的岩浆矿床中，磁铁矿一般含TiO_2很高，而其它类型的则含TiO_2很低。同一矿床从早期到晚期也呈现规律性变化。从锡石的标型特征（晶形和含微量元素）可以区分伟晶岩型、石英脉型、锡石硫化物型等不同类型的矿化。从辉钼矿中铼的含量，可以为区分斑岩铜矿与斑岩钼矿提供资料。利用矿物的标型特征，判别不同的矿床类型，是目前应用很广的一个方面。利用矿物标型特征和矿物共生组合特点，可以提供更好的矿床类型信息。如利用镁铝石榴子石和铬透辉石与金刚石的共生关系，指示找金伯利岩和有关金刚石矿床。含锌尖晶石作为多金属矿床出现的标志；电气石的标型变化作为不同成因的锡石矿床的标志。伟晶岩中玫瑰色和紫色矿物（云母、电气石、绿柱石等）的出现是锂、铯矿化的标志；花岗岩中绿色天河石、褐绿色铁锂云母的出现，说明可能有锂矿化的存在；花岗岩与碳酸盐接触带，见网状暗色萤石，说明可能有铍矿化（硅铍化一羟硅铍石）存在；在变质岩地区见蓝晶石、石榴石，是含云母伟晶岩存在的标志。不同的矿物组合，用以说明可能的矿床类型，是重砂异常评价的重要依据。也是矿点评价，氧化露头评价所要考虑的重要依据。

（2）区域含矿性评价：从区域重砂异常，可以大致判定一个区域的成矿远景和可能的矿化类型。深入研究可以用人工重砂结合地球化学资料，分析各种岩体的含矿性，如分析花岗岩类副矿物的组合及其混入元素的含量，如黄玉作为花岗岩类可能含矿性的标志，而榍石、褐

帘石含量偏高，作为不含矿的指示。对花岗岩的暗色矿物，黑云母或碱性角闪石，作为载体矿物而用于成矿专属性研究（分析其中微量元素的种类及含量变化）。据有关报导，基性超基性岩中铬尖晶石系列矿物，在化学成分上的变异，反映了岩体不同的产出状态（蛇绿岩套和层状基性超基性杂岩体）。蛇绿岩套中的副矿物铬尖晶石化学成分Al_2O_3与Cr_2O_3之间无消长关系，而Cr_2O_3与FeO呈互为消长关系，MgO是稳定的。层状杂岩体中Cr_2O_3与Al_2O_3、Cr_2O_3与FeO和Al_2O_3与FeO都呈互为消长关系。铬尖晶石成分在划分岩相，确定含矿母岩和矿床成因上，均有重要意义。我国的一些铬矿体产在铬尖晶石含Al_2O_3高的超基性岩石中。依据尖晶石的化学成分，可以大致判定岩体所含矿种：含Cr、Pt、Ni矿化的基性超基性岩，铬尖晶石均含FeO较高；当FeO含量超过20%时，主要是Pt、Pd的矿化；对Os、Ir矿化，则FeO含量不高，而Al_2O_3、Cr_2O_3较高。与金刚石伴生的铬尖晶石，Cr_2O_3含量极高，而Al_2O_3含量较低。可见富铬尖晶石才是金刚石的伴生矿物。矿物标型特征研究，还用于解决矿化与岩体的成因联系分析，间接服务于矿床预测评价。如我国南岭花岗岩中的副矿物锆石的标型特征变化，用其中含铀、钍的高低，确定岩体的相对时代，作为不同成因花岗岩的标志，早古生代的混合岩化成因的花岗岩，所含锆石晶形为纺锤状复正方双锥形。不同侵位深度，不同产状的花岗岩，所产锆石晶形亦不同，深侵位岩体的锆石为长柱状，浅成岩体则为短柱状。更有意义的是不同的矿化特征，锆石标型亦有明显的变化。可以分为三类（见表2-2）。利用矿物的类质同像成分的变化，对判别可能的矿种矿化类型具有重要意义。如常见的石榴石成分的类质同像变化与矿化的关系，总结了一些经验性的规律：钙铝榴石与钨钼矽卡岩型矿床有关；钙铁榴石与铁的矽卡岩型矿床有关；中间成分与多金属矿床有关、铁质石榴石与铜矿床有关；富铝的石榴石一般多无矿化。一些重要的矿物可以作为某种矿化类型的指示矿物（标型矿物），如斜锆石作为火成碳酸盐型矿床的指示矿物；富铜金红石作为斑岩铜矿的标型矿物。矿物标型特征，还应用于地层的含矿性评价和地层对比。当某一地层中某种有用矿物含量较高时，可以作为矿源层看待，用于指导区域性预测。

表2-2　我国南岭花岗岩中锆石标型特征

（据潘维祖）

矿化特征	锆石标型特征
含铌-钽矿化的花岗岩	棕褐色，透明度差（到不透明），折光率低，（No≈1.6），含H_2O高，一般不大于3%，部分大于5%。含铪高，$\frac{ZrO_2}{HfO_2}$比值低，（100）、（111）的简单聚形，短柱状
含稀土为主的矿化花岗岩	浅黄色，透明度好，折光率高（No＝1.75），含铪低，$\frac{ZrO_2}{HfO_2}$比值高，晶形为（110）、（111）、（100）聚形，（110）较（100）发育
含铀矿化的花岗岩	锆石含铀高达0.4%以上，高者达到0.7%

（3）矿床分带性研究：利用矿物标型特征的变化，说明其不同的形成物理化学条件，可以为矿床分带提供重要资料，对盲矿预测具有重要意义。如常见的闪锌矿随着成矿温度的降低，其含铁量和矿物的颜色发生规律的变化，这在矿床分带中已广为应用。

（4）矿床被剥蚀深度研究：矿床被剥蚀深度的分析，对成矿远景和深部预测具有重要意义。其基础是矿床形成时在垂直剖面上存在温差、压差、挥发份逸出度、成矿介质的酸碱

度、氧化还原电位等规律性地变化，而这些变化反映在矿物组合、围岩蚀变、标型特征变化等诸方面。可以从矿物的结晶形态变化、混入杂质的组成及含量变化、有关元素的比值变化、挥发份的含量变化、不同价态的阳离子比值的变化（如$\frac{Fe^{++}}{Fe^{+++}}$的变化）、矿物中气液包裹体的成份、形成温度及温度梯度变化等许多方面进行分析确定。

不难看出，研究矿物标型特征，主要在恢复成岩成矿条件（温度、压力、浓度、酸碱度等）、进行岩体分类、地层对比、变质程度对比，从而服务于成矿预测和矿床评价等诸方面。

2. *成矿预测过程中矿物标型特征研究的主要内容*

(1) 矿物在区域或矿床中的时空分布：一个区域内不同时代成矿条件的变化反映在矿物标型上有规律性变化。一个矿床以至一个矿体内矿物在时空分布上的变化，是分析矿床形成条件、划分矿床类型、确定矿床带状分布、矿化局部富集规律等的重要依据。

(2) 矿物的产状和共生组合：通过有成生联系的一组矿物共生组合分析，能反映矿床形成的物理化学条件。不同的共生组合，反映了不同的地球化学环境和物质组成。不同期的矿化叠加，往往造成矿物共生组合的复杂化。要注意有成生联系的矿物间的共生关系分析，岩石学和矿物学中有关相律理论是研究矿物共生组合的理论基础。矿物的不同产状及其成生联系，是形成条件分析的重要内容之一。如前述对硫化矿体氧化带的评价，要分析矿物在氧化带的变化过程及最终结果，从而对深部矿化做出评价。对Cu、U、Ag等注意次生富集带存在的可能性。矿物共生组合，对重砂找矿、矿化露头评价、岩体含矿性评价意义重大。象前述镁铝榴石、铬透辉石、铬尖晶石等的标型特征和共生组合，用于指导金刚石、铬铬矿、铂族元素矿床的预测评价，是成功的例证。

(3) 矿物的形态和结构构造：矿物的形态和结构构造，不同程度上反映了矿物的形成条件和环境。随着标型矿物学和成因矿物学的深入研究，技术方法的提高，目前正深入查明矿物的微细标型特征，以便提供更多的成因信息。如矿物晶体内部结构的微小差异，诸如多形变体、双晶、环带、解理、晶纹、晶体缺陷、晶体微小瑕疵、错位等微细和超微结构。如分布极广的石英和长石类矿物在不同条件下形成的变体，地质意义十分重要。广泛应用于矿物学、岩石学和矿床学的研究。SiO_2的变体随温度、压力的改变而改变，超石英形成温度>1200℃，方英石形成温度1715～1470℃，鳞石英1470～870℃，高温石英870～575℃，低温石英≤575℃，更低温为蛋白石和玉髓等。其中方英石和鳞石英主要见于高温低压的火山作用产物中。依国外实验资料，钾长石在大于700℃时为透长石稳定变体（单斜），而小于700℃时为微斜长石稳定变体（三斜）。钠长石在大于700℃时为高钠长石，小于700℃为低钠长石。长石中Al和Si在硅氧四面体中的构造位置受温度的制约，高温变体是Al-Si无序置换状态，而低温变体是Al-Si有序置换状态。钾长石和钠长石分子的连续固溶体，随温度变化而发生一系列构造形态的过渡。长石的有序度和三斜度变化反映了不同的产出条件和环境。火山岩中长石是无序的（有序度最低）深成岩中长石是有序的（有序度较高），浅成岩和次火山岩介于二者之间。

(4) 矿物的物理性质：包括比重、硬度、脆性、弹性、磁性、电磁性、热电性、电性（介电、电压等）、发光性（紫外发光、X发光、热发光、冷发光等）、热学性质（热导、热辐射、熔点、热膨胀、吸热、放热）、光性（折光率、双折率、反射率、吸收率、旋光性、光轴角、消光角、干涉、色散、多色性）及颜色、条痕、光泽等。随着物理学的发展，

为精确研究矿物的物性差异提供理论基础。作为矿物标型特征的物性变化研究，并不是要求对矿物所有物性进行全面系统测定，而是择其对形成条件反应灵敏的某些物性进行研究对比，达到既简便又实用的目的。如锂云母随温度增高而2V急剧变小，500～800℃时，2V＝33°，800℃时2V＝28°，900℃时2V＝0°，铁锂云母在900℃以下时，2V的变化与上述相反，即温度增高而2V变大。硬度、比重等被用来研究不同成因的磁铁矿和闪锌矿的标型特征。

（5）矿物的化学成分：矿物的主要组分和次要组分的变化，往往能反映其形成温度和地球化学环境。常用有限固溶体系列，作为地质温度计，是以化学交换平衡为基础。类质同像系列的矿物被用于成因条件的分析。有些副矿物中的成矿元素的含量变化，作为成矿专属性研究和地球化学研究的重要内容，这些矿物被称为成矿元素的“载体矿物”。一定条件下可以起到指示矿床类型的作用。如铜矿床的围岩中黑云母含铜较高，铅矿床围岩中钾长石含铅较高；钼矿床围岩中榍石和钛铁矿含钼较高，锂矿床围岩中电气石和绿帘石含锂较高等。某些矿物中的特征元素对的比值，对矿床成因研究有一定意义。如锡石中的In／Nb＋Ta，方铅矿中Sb／Bi，黄玉中的Ga／Ge，硫化物中的Au／Ag，与成矿深度有一定关系。此外，某些矿物中的Hf／Zr，Ta／Nb，ΣY／ΣCe比值可以用于分析矿液的酸碱度变化。

（6）矿物中气液包裹体和囚晶：通过包裹体研究，可以测温、测压、研究其成分、盐度和pH值，从而可以分析矿液的性质、来源和形成条件等。包裹体在矿床中的时空分布研究，有助于矿床分带、确定矿液的流向等，以指导矿床评价和深部预测。

（7）矿物中稳定同位素：查明稳定同位素的比值和时空分布，依此分析矿质来源和历史演化，有助于矿床成因和成矿规律研究。目前比较常用的稳定同位素有D／H′、$^{13}C/^{12}C$、$^{18}O/^{16}O$、$^{34}S/^{32}S$、$^{87}Sr/^{86}Sr$、$^{206}Pb/^{204}Pb$等。

总之，目前矿物标型特征研究，仍侧重于矿物物理性质和化学成分。为了充分发挥其在矿床预测评价中的作用，加强微观信息的研究，结合成岩成矿实验，提供更多的预测信息，具有广阔的应用前景。

3．一些常见金属矿物的标型特征及其找矿意义

根据徐国风教授等研究成果，择其重要的简介于后：

（1）自然金的标型特征：金银的原子半径相近、晶体构造类型相同，化学性质近似。自然金中往往含有一定量银，金的纯度（或称成色，即1000份自然金中化学纯金所占重量份数以1000表示最纯），反映了矿床形成的物理、化学条件。金的成色与矿的形成深度有一定关系，依苏联远东91个内生金矿统计，其中51个中深和深成金矿平均金的成色为886.7，40个浅成金矿平均金的成色为647.3。矿的形成深度愈大金的成色愈高，反之金的成色较低。在同一矿床中，不同标高的矿化亦存在上述的规律。随着成矿深度的增加，自然金中Zn、Pb、Sb、Te等元素有减少的趋势。从时间上看成矿时代愈老，金的成色愈高，反之有变低的趋势。对同一矿床而言，也有从早阶段到晚阶段形成的金成色变低。金的成色变化可以用于金矿床垂直分带的研究，在矿床评价中具有重要意义。

（2）钛铁矿（$FeTiO_3$）的标型特征：不同成因的钛铁矿，具有不同的化学组成和微量元素组合。金伯利岩中钛铁矿，主要是钛铁矿-镁钛矿-赤铁矿的固溶体，微量元素以Cr、Ni、Zr、Co、Nb高为特征。产于基性超基性岩内铁矿石中的钛铁矿，主要是钛铁矿-镁铁矿-红钛锰矿-赤铁矿的固溶体，含V稍高，Cr、Ni很少。火成碳酸岩和碱性超基性岩的钛铁矿，主要是钛铁矿-镁钛矿-红钛锰矿的固溶体。区域变质磁铁石英岩中的钛铁矿成分较纯。砂

矿中的钛铁矿主要是钛铁矿-赤铁矿的固溶体。不同成因的钛铁矿在硬度、比重、内反射等性质上也有差异。不同的钛铁矿成因，可以为区域成矿远景提供信息。

(3) 磁铁矿($FeFe_2O_4$)的标型特征：不同成因类型铁矿床中，磁铁矿的化学组成有变化，微量元素组成也不同。如岩浆矿床含TiO_2较高，而在接触交代和区域变质矿床TiO_2含量很低。岩浆型矿床的磁铁矿，含Se、Ni、Zn较高(Ni>Co)，而矽卡岩型矿床中磁铁矿含Zn、Co(Co>Ni)特高，Se、Te也较高，矽卡岩型铜矿床磁铁矿中含铜特高。热液矿床中磁铁矿含Ni、Pb、Cu较高。一般沉积铁矿床磁铁矿中含Cu、Ge、Zn很低。区域变质铁矿中磁铁矿含Cu、Zn很少。不同成因的磁铁矿，物理性质(硬度、相对密度、反射率)和晶胞参数也不同。

从磁铁矿的标型特征，可以为确定矿床成因，划分矿床类型提供资料，如对广布华北的邯邢式铁矿的成因存在接触交代和火山成矿的争论，从部分磁铁矿富含MgO、MnO及Co的分析结果来看，可能属于接触交代成因。作为各种岩浆岩的副矿物磁铁矿，其中微量元素的组成，可以提供矿化与岩浆岩的联系信息。与斑岩铜矿有关的中酸性岩浆岩中磁铁矿富含Cu(300～800ppm)、Zn(>245ppm)；与矽卡岩型铜铁矿床有关的花岗岩中磁铁矿含Cu(136ppm)和Co(50～500ppm)；与铅锌矿有关者富Ti、Zn。

(4) 锡石(SnO_2)的标型特征：不同矿床类型产出的锡石晶形及微量元素有很大差别，早被应用于重砂异常评价。伟晶岩型矿床产出的锡石以四方双锥为主，呈近等轴状；而石英-锡石型矿床的锡石，以方柱状和四方柱晶形为主，呈短柱状晶体；锡石硫化物型矿床的锡石以四方柱和复四方双锥单形，呈长柱状或针状晶形。其他物理性质也与形成条件有关，而各类矿床的工业意义是不同的。

(5) 辉钼矿(MoS_2)的标型特征：在自然界呈六方晶系(2H型辉钼矿)和三方晶系(3R型辉钼矿)类型或二者混合型产出，区别辉钼矿类型最有效的方法是X射线粉晶照像。不同成因类型矿床的辉钼矿，其中微量元素组成及含量不同。3R型辉钼矿含Ti、Zr较高，而2H型辉钼矿很少含Ti、Zr。斑岩铜钼矿床中辉钼矿(3R型辉钼矿)还含较多的Se、Pd、Pt、Ti、Ag等元素，其中尤其是Re的含量具有重要的成因意义。斑岩铜矿中的辉钼矿含Re很高，而斑岩钼矿含Re很少(一般认为少于200ppm)。这对斑岩铜钼矿床初期评价具有重要意义。辉钼矿中的Re可以蜕变为Os，半衰期为$4.3\times10^{10}a$，故可借辉钼矿中的Os/Re比值，计算辉钼矿的形成年代。如我国山西中条山铜矿峪的斑岩铜矿中辉钼矿中Os/Re=1：27.6。天津地质矿产研究所折算其成矿年代为1567Ma前(属前震旦纪)，与地质上的认识基本一致。

(6) 闪锌矿(ZnS)的标型特征：闪锌矿中类质同像铁的含量和一些微量元素的变化，反映其形成条件。闪锌矿中铁的含量随成矿温度的降低而递减。高温形成的闪锌矿含铁10～20%；中温3～10%，低温1～3%。颜色从黑色到淡黄，硬度从4.5变小到3.0，比重从2.3增至4.3。闪锌矿随其成矿温度降低，微量元素也有变化，高温含Sn，中温含In、Cd，低温含Ga、Ge，有的含Tl、As。有人用闪锌矿中In/Cd比值区分不同的矿床类型，其中以黄铁矿型多金属矿最高(大于200)、而其他沉积型铝锌矿比值较低。有用Ga/In比值说明闪锌矿的形成温度，随着形成温度增高而比值降低。

(7) 黄铜矿($CuFeS_2$)的标型特征：从黄铜矿的标型特征，可以判定产出的矿床类型。正常的黄铜矿含Cu34.56%，Fe30.52%，S34.92%。岩浆熔离型Cu、Ni矿床和黄铁矿型铜矿中的黄铜矿，Cu、Fe偏高(高出2～3%)，而S偏低。斑岩铜矿中黄铜矿相反，Cu、Fe偏

低而S偏高。晚期岩浆钛磁铁矿矿石中黄铜矿S略偏低（低0.55%），矽卡岩矿床和锂铍伟晶岩矿床产出的黄铜矿属正常的黄铜矿。不同类型矿床，其黄铜矿热电性（以热电系数表示）也不同。从含铜砂岩、铜镍矿床到矽卡岩型矿床，热电系数有增高的趋势（200～600微伏/度）。根据矿床中黄铜矿内微量元素含量变化，可以判定矿床类型。岩浆熔离型Cu-Ni硫化矿床中的黄铜矿含大量的Co、Ni和Pt族元素；云英岩型黑钨矿床中的黄铜矿含大量的Bi和Ag；锡石-硫化物矿床的黄铜矿Ag含量高，同时含Ni、In。斑岩铜、钼矿床之黄铜矿含Se、Re较高；热液石英脉金矿之黄铜矿含Au高；黄铁矿型铜、多金属矿床的黄铜矿含As较高；沉积变质型层状铜矿含Ge、Ag高，而不含Co。

(8) 黄铁矿（FeS_2）的标型特征：黄铁矿是内外生各种矿床中常见的伴生矿物。常见晶形为五角十二面体和立方体两种，前者在外生成因中较为多见。在内生矿床中，黄铁矿结晶完好而粗大者往往矿化不太好。黄铁矿中的微量元素具有重要的成因标型意义，特别是Co、Se、Au等意义更大。有些微量元素含量高，可综合利用。通常外生成因的黄铁矿含Co、Ni较低（一般含Co只数十ppm）。而且Ni>Co，个别沉积矿床Ni也可以很高。大量内生矿床的黄铁矿，Co、Ni含量都很高（可高达1000ppm）。同一矿床中早世代的黄铁矿含Co较晚世代的为高。长江中下游铁铜矿床中的黄铁矿，Co的含量从下游到中游普遍增高，显示了区域性地球化学特征。随黄铁矿中Co含量的增加，黄铁矿晶胞常数（a_0）略有减小，比重略有增大，颜色略有加深。Se、Te在外生成因黄铁矿中含量较低，而内生较高，在内生成矿过程中，黄铁矿中Te的含量有随成矿温度的降低而增高的趋势，内生金矿中的黄铁矿含Au和As、Sb较高；斑岩Cu、Mo矿床中黄铁矿含Mo、Zn较高；矽卡岩铁铜多金属矿床中黄铁矿含Pt较高；海相火山沉积黄铁矿中含Ge较高。有的人注意到黄铁矿中Cu/Zn、Ag/Zn、Pb/Zn、Co/Ni比值的变化，也有一定的标型意义。

上述所列8种矿物的标型特征及其应用，是初步工作的成果，今后仍需不断向深度和广度进军，以便提供更多的信息，在矿床预测评价中发挥更大的作用。

（二）近矿围岩蚀变的研究

1. 近矿围岩蚀变的预测找矿意义

矿体围岩在热液作用下所发生的种种变化（包括化学组分的变化和物理性质的变化）称之为围岩蚀变。围岩的性质和热液的性质是影响蚀变的主要因素。对围岩蚀变，通常以蚀变所产生的矿物和岩石而命名。如绢云母化、绿泥石化、矽卡岩化、云英岩化、青盘岩化等。也有据蚀变过程中从热液中加入某种元素来命名的，如钠化、钾化等。

对于内生矿床，尤其是为数众多的气成热液矿床，各种蚀变围岩对指示矿床存在和对矿床的预测评价具有重要意义。

(1) 各种蚀变和矿石同样是成矿作用的产物，由蚀变围岩可以推断矿床的形成过程，矿液的物质组成和矿液的性质（酸碱度、温度、压力等）。成矿过程中矿液在演化，围岩蚀变也在变化。蚀变和矿化存在成因联系。

(2) 在时间空间上，矿和有关的蚀变存在密切的联系。蚀变围岩的分布范围往往较矿体大，当剥蚀深度一定时，可以依蚀变对深部盲矿进行预测。一个矿床往往同时存在多种蚀变，各种蚀变形成时间各异，但彼此间有成因上联系。从时间上矿化往往集中在某一时期。查明不同成矿期和矿化阶段的分布与强度，可对成矿远景做出评价。

(3) 不同蚀变及其组合专属一定的矿床（矿种和矿床类型）。各种蚀变反映了成矿的特定物理化学环境。某一类型矿化往往和某种特定蚀变相联系，从蚀变围岩可以对矿化类型做

出判断。

（4）不同的蚀变及其组合，蚀变强度及广度与含矿性有一定联系。可以根据蚀变围岩的研究，进行含矿性评价，从而指导矿床的预测评价。

2．矿床预测评价中对近矿围岩蚀变研究的主要内容

在系统岩矿工作基础上，正确鉴定各种蚀变岩石，这是工作的基础。蚀变岩石往往成分复杂多变，不易识别。因此要结合矿物地球化学研究及成矿试验，从宏观到微观，使整个矿床研究深入一步。为达到预测找矿的目的，应特别注意以下几方面的研究：

（1）蚀变岩石的成因及形成环境的分析，结合矿物地球化学的专门研究，为建立成矿理论，划分矿床类型提供资料。各种有用组分的析出，往往集中在某个特定阶段，可以查明整个化学反应过程，并为成矿规律和预测的研究提供依据。联系成矿作用分析，查明不同蚀变成因及其与矿化的联系，有的蚀变有重要找矿意义，有的则无或只有次要的意义。岩浆自变质、区域变质、动力变质、热液作用均可产生多种蚀变，每种蚀变的找矿意义截然不同，因此研究蚀变的成因，十分必要。

（2）蚀变的时空分布与矿化的关系，有的蚀变有分带性，不同矿化存在于某一特定的蚀变带内，对预测矿体的分布有重要意义。

（3）蚀变的不同组合和演化与工业矿化的有关系研究。

（4）蚀变围岩的成分变化和强度变化与工业矿体的关系研究。

（5）在深入系统围岩蚀变研究的基础上，建立蚀变模型指导对矿床的找寻和预测。

3．近矿蚀变围岩含矿性评价

复杂的多种蚀变围岩、其含矿性差别很大。主要蚀变围岩可以按不同围岩组分分为三大类，即：中酸性岩的蚀变、基性超基性岩的蚀变和石灰岩与其它碳酸盐类的蚀变。现分别述及于后：

（1）中酸性岩有关的蚀变。其主要蚀变类型有：

云英岩化：是以中酸性岩为主的硅铝质岩石受高温气水热液作用产生的一种蚀变，主要发生在中酸性岩内外接触带和部分变质岩中。其中长石（钾长石、斜长石）分解为石英和白云母。蚀变过程中有F、B、Li等挥发分的参与。云英岩化主要由石英、白云母、锂云母、电气石、黄玉、萤石、黑钨矿、毒砂、黄铜矿等矿物组成。云英岩化与钨锡矿关系密切，且以锡矿为主。对钼、铋矿化也有一定的意义。与云英岩化有关的矿床，依其硫化物的多少而分为非硫化物型锡、钨矿床和硫化物型锡、钨矿床，含有Fe、Cu、As、Bi、Mo、Zn等硫化物。前者多与偏酸性侵入体有关，而后者与偏中性侵入体有关。云英岩的成分与有关矿种有密切联系：电气石类型，特别是电气石-绿柱石型云英岩是硫化物锡矿的找矿标志；黄玉型云英岩是非硫化物型锡矿的找矿标志；萤石型云英岩是钨矿的找矿标志；萤石-白云母型云英岩是辉钼矿的找矿标志。

绢云母化：是一种分布广泛的热液蚀变。铝硅酸盐为次生绢云母所交代（长石类和部分暗色矿物）形成绢云母、石英为主的岩石，有时有绿泥石、绿帘石、碳酸盐矿物及硫化物共生。绢云母化是找寻Cu、Pb、Zn、Au、As和某些稀有金属的重要标志。萤石、红柱石等矿床亦可见到绢云母化蚀变。绢云母化常与黄铁矿化同时出现，常称为黄铁绢英岩化。是各种中温热液矿化的常见蚀变，特别是斑岩铜矿、黄铁矿型铜矿、多金属矿床和金矿床中极为常见。

钠长石化：主要是钠质交代的结果。近年来注意到钠化对铁矿的富集起重要作用。与矿

化有关的花岗岩中钾长石为白色钠长石所交代。酸性岩浆岩中的钠长石与Be、Nb、Ta、TR等矿化有关。碱性岩中的钠长石化与TR、Nb、Ta、Ti等矿化有关。钠长石是青盘岩化的一个矿物相，此时与Cu、Pb、Zn、黄铁矿等矿床有关。

钾长石化：亦是常见的早期蚀变之一，往往在钠长石之前。红色钾长石呈浸染状或脉状产出，钾长石化是找铜的有利标志。某些金矿亦见钾长石化。与中酸性岩有关的蚀变，还有黄铁细晶岩化、硅化、次生石英岩化、泥化（高岭土化、粘土化）等。

（2）基性及超基性岩的蚀变。其主要蚀变类型有：

蛇纹石化：区域变质、动力变质和热液作用均可形成，前者分布较广，找矿意义不大。热液的蛇纹石化是温石棉的直接找矿标志。不只限于基性超基性岩，也见于中酸性岩及碳酸盐类岩石中。

绿泥石化：各种变质作用都可形成，但以热液蚀变有找矿意义，所以要注意区别不同成因的绿泥石化。黄铁矿型铜矿、多金属矿以及硫化物锡石矿多有绿泥石化出现。在基性超基性岩中最为发育，也见于中酸性岩中。

青盘岩化：安山岩和玄武岩中最为常见，流纹岩中偶而见之，是Au、Cu、Ag等浅成热液矿床中最常见的蚀变。近年来研究证明它也是斑岩型Cu-Mo-Au矿化的外围蚀变之一。青盘岩化是在热液中CO_2、S、H_2O作用下，在近地表条件下形成一套以绿泥石、碳酸盐、绿帘石、黄铁矿、钠长石等矿物组合的一种蚀变。

碳酸盐化：主要见于基性超基性岩中，也见于碳酸盐沉积岩中。碳酸盐化形成一套以方解石、菱铁矿、铁白云石及菱镁矿等矿物组合。主要与Cu、Au矿床有关。一部分碱性超基性的碳酸盐化则与Nb、Ta、Zr、TR矿化有关。在碳酸盐沉积岩区，则要注意可能有低温Pb、Zn、Hg、Sb的矿化。

（3）碳酸盐类岩石的蚀变。其主要蚀变类型有：

矽卡岩化：是中深条件下中酸性侵入体与碳酸岩类接触的常见的一种蚀变。分布于中酸性侵入体的内外接触带附近，由石榴石（钙铝石榴石-钙铁石榴石系列）和辉石（透辉石-钙铁辉石）及其它Ca、Fe、Mg、Al硅铝酸盐矿物组成。与矽卡岩有关的矿化最重要的是Fe、Cu、Pb、Zn、W等，Sn、Mo、Be、Co、Ni、Au、B等亦与之有关。常常见到以某种元素为主，其它多种组分有综合利用价值的综合矿床。由于围岩条件的不同，形成的矽卡岩矿物组成也不同。交代灰岩形成钙矽卡岩，交代白云岩形成镁矽卡岩。前者分布最广，主要由辉石和石榴石组成。后者矽卡岩主要由镁橄榄石、硅镁石、韭闪石、硼镁铁矿等组成。一般认为矿化多在矽卡岩形成以后，并有一定的时间间隔，因而矿化与矽卡岩的空间关系也较复杂。有的矿体与矽卡岩体一致，整个矽卡岩体就是浸染状矿体，见于W、Cu多金属矿床。有的矿体产于矽卡岩和围岩的接触带上，见于Cu、Au、Fe等矿床。还有的矿体产于矽卡岩中某个相带或有利构造中。也有的矿体不产在矽卡岩体中而在围岩中，但仍在矽卡岩体附近。有时矿化和蚀变同受某一构造及岩性的控制。矽卡岩的矿物组成和类别也与矿化类型有一定联系。就我国情况而言，以铁矿为主的矽卡岩主要由透辉石、钙铁辉石、钙铁榴石组成，其次是方解石、阳起石、绿帘石。矿石矿物为磁铁矿及部分赤铁矿；以铜为主的矿化，矽卡岩成分为钙铁-钙铝榴石、透辉石、绿帘石等，部分与镁质矽卡岩有关。一部分矽卡岩铜矿与斑岩铜矿互为过渡；以白钨矿为主的矿化，矽卡岩矿物组成以含铁少为特点，主要为钙铝榴石、透辉石、角闪石、绢云母等组成，其次有符山石、萤石、石英等共生。白钨矿呈浸染状、细脉状产出；钼矿化为主的矽卡岩，亦以钙铝榴石，透辉石为主；锡矿化则有相当数

量的符山石、阳起石、绿泥石出现，矽卡岩铍矿化含较多挥发分，并向云英岩等过渡。近年来注意到石榴石和辉石可变成分对指示不同矿化类型的研究。

与碳酸岩有关的蚀变还有硅化、重晶石化、白云岩化等，对低温Pb、Zn、Sb、Hg有一定的找矿意义。

围岩蚀变类型和矿种的关系，见表2-3。

表 2-3

含矿溶液的温度	围岩蚀变类型	围岩条件					矿产种类	
		沉积岩和变质岩		岩浆岩			金属	非金属
		碳酸盐质	硅铝质	超基性基性	中性	酸性		
气化-高温热液	云英岩化		++			+++	W、Sn、Mo、B	
	钠长石化					+++	Li、Be、Nb、Ta	
	矽卡岩化	+++			++	++	Fe、Cu、Zn、Pb、Mo、Sn、W	
	方柱石化	,++				++		金云母
	电气石化					++	Sn	
	次生石英岩化				++	+++	Cu、Mo、Au	明矾石、叶腊石
	黄铁绢英岩化					+++	Au、Cu、Pb、Zn	
	硅化	++	++		++	++	Au、Cu、Hg、Sb	
	绢云母化		+++		++	+++	Cu、Mo、Au、Pb、Zn、As	
中低温热液	绿泥石化		++	++	+++	+	Au、Cu、Pb、Zn、Sn、Cr	
	蛇纹石化	++		+++			Cr	石棉
	碳酸盐化		++	+++	++	+	Au、Cu、Pb、Zn	
	青盘岩化		+	++	+++		Au、Ag、As、Sb	
	滑石菱镁片岩化			++			Ni、Co	重晶石、
	重晶石化	++					Pb、Zn	滑石

4. **建立蚀变模型**

在深入研究蚀变过程、分带和成因的基础上，建立蚀变模型，是成矿模型的重要组成部分，在预测评价中有重要意义。

按R.哈钦森等建立的斑岩铜（钼）矿蚀变分带模型，从岩体中心向外依次为：钾化带（钾长石、黑云母、石英、绢云母、硬石膏，有时中心有硅化核）→石英绢云母化带或称似千枚岩化带（石英、绢云母、绿泥石、黄铁矿）→泥化带（高岭石、绿泥石、绢云母、石英）→青盘岩化带（绿帘石、绿泥石、绢云母、石英、黄铁矿等）。如围岩为碳酸岩时，在岩体和围岩接触带有矽卡岩带出现。我国大部分斑岩矿床泥化带不发育，从钾化带到绢云母化带，蚀变类型与母岩和围岩成分、构造特点等有关，多以线状构造为中心的对称分带，上盘较下盘蚀变更发育。与蚀变分带相应从内到外金属组分和结构构造均呈有规律的变化，从浸染状黄铜矿、辉钼矿→细脉浸染黄铜矿、黄铁矿→脉状黄铁矿→含Au、Ag的黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、重晶石等。

按斑岩铜矿的蚀变模型，根据J.D.劳维尔等对美国亚利桑那圣马纽埃—卡拉马祖矿区的研究，成功地利用蚀变模型找到了受断裂破坏的卡拉马祖铜矿床（图2-5）。并可利用斑岩蚀变的规律分带对矿化剥蚀深度进行评价，在找矿预测中具有重要意义。

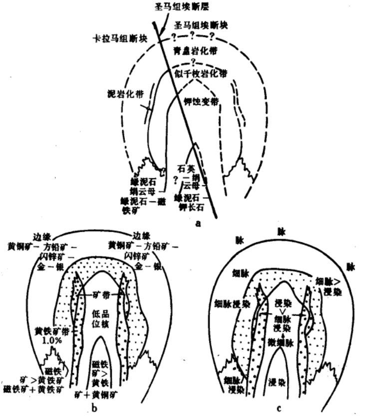


图2-5 圣马纽埃—卡拉马祖圆心状蚀变—矿化带略图

（据J.D.劳维尔等，1970）

a—蚀变分带略图 b—矿化分带略图；c—硫化物产状分布图

我国长江中下游的玢岩铁矿，在岩体顶部蚀变分带明显，是很好的预测找矿标志。蚀变自下而上分三个带：下部浅色蚀变带（钠长石化带）→中部深色蚀变带（方柱石化、透辉石化、石榴石化带）上部浅色蚀变带（硅化、泥化、硬石膏化、黄铁矿化）。从蚀变岩石组合上，这些蚀变分属类矽卡岩化、类青盘岩化和泥英岩化三类。在岩体内靠近接触带的深色蚀变带是近矿的蚀变。在预测找矿和剥蚀深度评价时，蚀变分带是重要标志之一。

第三节 矿床分散晕的研究和评价

矿床形成过程中或形成以后遭风化剥蚀形成的各种矿床分散晕，是重要的矿化信息和预测标志。

矿床分散晕，是指围绕矿床某些造矿矿物或元素的局部高含量带。其含量梯度变化和空

间分布，均与矿化有关。并表现为成矿元素含量的规律变化从区域的背景含量（正常场）到低异常区、高异常区、浓集中心，最后过渡为工业矿体。各级分散晕的规模，随着成矿元素或有用矿物含量的增高而缩小。区域性的分散晕可以大及数百甚至上千平方公里范围。时间上分散晕可以形成于成矿过程中（如原生晕）或成矿以后（各种次生晕、重砂异常），各种形式的分散晕，可以形成于矿体围岩中、松散沉积物中、水体中、植被中及空气中。构成分散晕的成矿物质可以是矿物的机械分散（重砂异常），可以是盐类、气体或生物的化学分散晕。

为了查明各种分散晕与矿化的联系，从而形成不同的找矿方法，诸如重砂测量、岩石地球化学测量、土壤地球化学测量、水系沉积物地球化学测量、水化学测量及生物地球化学测量等。

重砂测量是查明矿产机械分散晕的一种方法。新的趋向是将重砂测量与各种地球化学测量方法相结合，除了进行原有重砂矿物的研究外，同时对重砂样品进行元素的分析，矿物包裹体测定等，从重砂矿物和元素分布上提供更多的预测找矿信息。

一、重砂异常的研究和评价

（一）重砂异常形成的机理

重砂异常是围绕矿体或含矿岩体、地层形成的一种矿物机械分散晕。当矿体或含矿岩体遭到风化剥蚀，稳定重砂矿物在重力和水流等作用下，围绕蚀源区形成重砂矿物机械分散晕。凡矿物比重大于3者称重砂矿物，在风化剥蚀过程中，重砂矿物首先进入残坡积层，再进一步进入水系沉积物，受重力和水流作用被迁移，在残坡积层中或水系沉积物中形成重砂矿物的分散晕和分散流。

相对密度大、物理化学性质稳定的矿物，易形成机械分散晕，有的可以富集成砂矿床。原来被风化的可以是工业矿体，可以是不具工业意义的矿化带、岩体或地层等，经过次生富集而成矿。

重砂找矿方法是我国劳动人民首先应用的一种简单有效的找矿方法。方法步骤首先是野外沿水系进行系统的取样编录，取样地点和深度要注意选择重砂易于富集的地点和层位。经淘洗加工，进行室内鉴定，然后做出重砂分布图。依重砂分布图，圈出重砂异常，指示找矿远景区。

根据不同的目的，可以进行残积、坡积、河漫滩或阶地取样，绘出相应图件。

（二）重砂异常的预测找矿意义

重砂异常在空间上与原生矿或含矿岩体等密切相关，范围远较原生矿或含矿岩体范围大，可以利用重砂异常评定一个区域的含矿性和成矿特征，可以指导找原生矿和砂矿。还可用于其它地质研究，间接服务于成矿预测。

重砂找矿法被广泛应用于稀有、贵金属和特种非金属的找矿预测，如Au、Pt、W、Sn、Nb、Ta、Zr、Ti、Hg、Sb、金刚石、刚玉、磷灰石等。

从一些矿床的发现历史来看，含稳定重矿物的矿床，往往是根据重砂异常研究而导致新矿床的发现。我校1958年在鄂西填图找矿，从河流重砂中发现辰砂，及时追索检查，从而发现了天柱山曾家湾汞砂。我国南方许多W、Sn矿床、Au矿床，也都是首先依据重砂异常发现的。

重砂异常在找矿预测中的应用，主要归结为以下三个方面：

（1）对区域含矿性进行预测评价。根据重砂异常资料，可以反映工作区的矿化特点和主要地质特征。深入分析重砂测量资料，联系地质背景，可以对区域内能找到什么矿种，可能的矿床类型做初步预测。如重砂矿物组合为铬铁矿、钛铁矿、磁铁矿、橄榄石、铬尖晶石、镁铝榴石、磁黄铁矿、镍黄铁矿等，则说明是基性超基性岩分布区的地质特征，要注意Cr、Ni、金刚石等矿产的普查。如果是黑钨矿、白钨矿、锡石、黄玉、电气石、萤石、绿柱石、泡铋矿的组合，则说明工作区是酸性岩分布区的地质特征，要注意W、Sn、Nb、Ta等矿产的普查。

（2）根据重砂异常，可以缩小找矿靶区，可以从重砂异常追索原生矿床或砂矿床。

（3）用于加强地质研究，间接服务于预测找矿。如岩体划分和对比；地层的划分和对比；查明可能的矿源层和矿质来源；查明内生矿化与岩浆活动的联系等。借助于人工和天然重砂取样，结合矿物地球化学研究，可以取得很好的效果。

（三）重砂异常的评价

围绕区域含砂性，确定找矿靶区，追索原生矿床和初步了解砂矿远景等目的，对重砂异常的评价，首先要重视异常地区地质背景的分析，同时注意影响重砂矿物分散晕（流）形成的因素的分析，检查含矿岩体和地层或原生矿体是否存在，它们为重砂异常的形成提供物质来源。只有那些比较稳定的矿物组合，才易形成重砂分散晕（流）。对于不稳定的矿物，往往在剥蚀搬运过程中遭到破坏，或者形成很小的重砂晕（流），如大量的金属硫化物属之。物理化学性质稳定的矿物，抵抗风化磨损力强的矿物，可以在坡积层或冲积层中集中起来，而且可以搬运到很远的地方去。各种重砂矿物按稳定性的不同，可以分成四类（表2-4）：

表2-4 重砂矿物稳定程度分类表

不稳定矿物	较稳定矿物	稳定矿物	很稳定矿物
闪锌矿	黑钨矿	石榴石（部分）	自然金
毒砂	白钨矿	磁铁矿	铬铁矿
黄铁矿	石榴石（部分）	钛磁铁矿	黄玉、电气石
橄榄石	褐帘石	铌铁矿	板钛矿
云母类	透辉石	榍石	锐钛矿
辉石类	阳起石	矽线石	金红石、尖晶石
角闪石类	绿帘石	蓝晶石、磷钇矿	铂族矿物
	十字石	重晶石、独居石	锆石、金刚石
		钛铁矿、锡石	刚玉

如湖南省一幅1：20万的重砂测量结果图，黑钨矿、白钨矿、锡石异常分布在花岗岩基的内外接触带；锆石、独居石、黄玉、磷钇矿、钛铁矿出现在花岗岩区的水系中；方铅矿、闪锌矿的重砂异常分布于浅成小侵入体附近、断裂带附近和短轴背斜的轴部；辰砂分布在西部的断裂破碎带中，雄（雌）黄与辰砂共生，局部见锑矿物；铬尖晶石出现于有基性超基性岩地区。以上重砂异常的分布，基本上反映了本区的地质特点和成矿特征。

就重砂异常本身，则要分析重砂异常的范围和强度，看异常的分布范围大小，那些矿物和组合形成异常，异常的强度高低。同类异常中凡矿物组合齐全、有用矿物的含量高、分布范围广，则找矿远景大。要联系地质地貌特点，分析这些重砂异常的可能来源。

重砂矿物的矿物共生组合和标型特征研究，是评价重砂异常的另一重要依据。重砂矿物

的共生组合反应了地质特征和可能的矿化类型，从而用重砂资料进行岩体和地层对比、地质填图等许多方面。结合重砂矿物的标型特征研究，能提供更多的资料（有关矿物标型特征见前面有关章节）。一定类型的矿床往往形成特定的重砂矿物组合，如锡石、黄玉、电气石、萤石、黑钨石、白钨矿组合，是与云英岩化有关的石英脉型锡石矿床的特点；锡石、铌铁矿、钽铁矿、锂辉石、独居石组合，则是伟晶岩型矿床的特征；锡石、硫化物、石榴石组合，是硫化物型锡石矿床的特征。有些贵重金属、稀有金属和部分非金属的矿物，常常依特征的共生矿物来指导找矿，如金伯利岩中的金刚石，首先寻找与其密切共生的含铬的镁铝榴石、含铬透辉石、镁铬尖晶石、镁钛铁矿等作为找金刚石的矿物标志。见到铬铁矿、橄榄石、铬尖晶石、辉石组合时，要注意铂族元素存在的可能性。常见重砂矿物的组合及可能的矿化类型见(表2-5)。

表2-5　常见典型重砂矿物共生组合及有关的矿床类型

有用矿物及成因类型		共生组合	含有用矿物的岩石	附注
金刚石（金伯利岩）		含铬镁铝榴石、镁铬尖晶石、锐钛矿、含铬金红石、铬透辉石、钛铁矿、铬铁矿、铂、金、磁铁矿、钛铁矿	角砾云母橄榄岩	
铂及铂族矿物（岩浆型）		铬铁矿、钛铁矿、磁铁矿、钛磁铁矿、橄榄石、镁铝榴石、铬尖晶石、紫苏辉石、镁铁尖晶石、蛇纹石、镍黄铁矿	超基性岩（纯橄榄岩、橄榄岩、蛇纹岩、辉石岩）基性岩（辉长岩）	
锡石	伟晶岩型	铌铁矿、钽铁矿、锂云母、锂辉石、电气石、钨锰铁矿、辉钼矿	伟岩晶脉	
	石英锡石型	黑钨矿、白钨矿、黄玉、电气石、萤石、绿宝石、泡铋矿、铋钨酸钙矿	石英脉、云英岩脉	
	硫化物锡石型	黄铁矿、电气石、铁绿泥石、磁铁矿、石榴石、磁黄铁矿、褐铁矿	石英脉、矽卡岩	
	矽卡岩型	石榴石、辉石、角闪石、符山石、辉钼矿等硫化物	矽卡岩	
黑钨矿（热液型）		锡石、白钨矿、黄玉、电气石、萤石、辉钼矿、方铅矿、辉铋矿	石英脉	
辰砂（热液型）		萤石、自然金、辉铋矿、黄铜矿等硫化物	石英脉、碳酸盐岩	仅见某些金汞矿中共生
铌钽矿		磷铝石、磷钇矿、锆石、钛铁矿、独居石、锡石、金红石、锂辉石、锂云母、锐钛矿、曲晶石、黄玉、铌铁矿、钽铁矿、烧绿石、褐钇铌矿、黑稀金矿	花岗岩、花岗伟晶岩、钠长石化、云英岩化花岗岩	
独居石		磷钇矿、褐钇铌矿、金红石、钛铁矿、石榴石、十字石、蓝晶石、锆石、电气石、铌钽铁矿	花岗伟晶岩、花岗岩、碱性岩、片麻岩	
绿柱石		萤石、锂云母、锂辉石、电气石、黄玉、刚玉、铌钽铁矿、锡石、硅铍矿、黑钨矿、铌铁矿、细晶石、辉钼矿、辉铋矿、金绿宝石	花岗伟晶岩、云英岩化花岗岩	绿柱石本身在重砂中少见

必须指出，重砂矿物的共生组合往往是比较复杂的，因其不仅来自矿体或矿化岩体，还来自与矿化无关的水系上游供给区的各种岩石。要注意区别哪些与矿有关、哪些无关，如有的是岩浆岩体或地层的副矿物引起的异常则无直接找矿意义。如根据经验白钨矿作为岩石的副矿物呈白色细粒（大于1mm），而钨矿床中的白钨矿颗粒多大于1mm，多呈淡黄色。辰砂也是粒大于1mm以上的多与矿有关，而很细粒的往往与矿无关。要做深入研究和具体分析。如某队发现铬铁矿异常，滚圆度好，无典型的共生矿物伴生，后来用人工重砂发现是附近侏罗系砂岩中的副矿物经风化相对富集造成的异常，并无找矿意义。

联系到重砂矿物的不同物理化学性质，分析其可能搬运距离，对分析异常的成因来源，指导找矿有重要意义。矿物搬运距离要结合不同稳定性矿物空间分布特点来分析。影响矿物运移距离的主要因素包括矿物本身的颗粒大小、河床条件以及水动力条件等。凡相对密度大、稳定性好的重砂矿物，可以被搬运到较远距离。矿物的磨圆度好是远距离搬运的标志（对细小颗粒矿物，在流水中呈悬浮状态，一般磨圆度较差）。相反磨圆度差、稳定和不稳定矿物混杂，有时见有矿物结合体存在，则说明搬运距离较近。矿物搬运距离，有些经验数字，如锡石砂矿距原生矿一般不超过5～8km，个别情况下可达数十公里。自然金可以搬运较远，可以搬运到几百公里以外，但有价值的砂金一般也不会距原生矿太远。

在综合分析重砂资料的基础上，正确圈定远景区，一定要综合考虑地质背景和化探、物探等有关资料，必要时要到野外进行现场踏勘或加密取样检查，以评定其找矿意义。如图2-6所

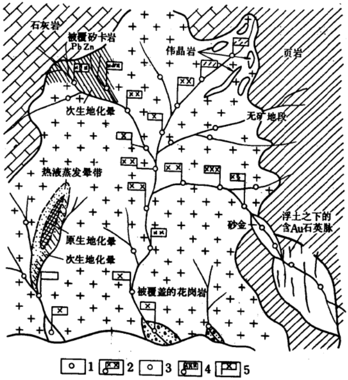


图2-6 用重砂配合原生晕、次生晕用于小比例尺普查矿床

（据H.Џ.耶尔马可夫，1966）

1—不爆的无矿重砂； 2—有轻粒级脉石矿物爆裂的无矿重砂； 3—具有用组分的重砂；
4—含金属矿物强烈爆裂的重砂； 5—假定重砂称样中爆裂100个脉冲

示，用重砂测量，配合原生晕、次生晕用于小比例尺区域普查，对其中石英、长石等轻矿物进行爆裂法测定其爆裂脉冲数，从而发现了含金石英脉、伟晶型稀有金属和矽长岩型多金属等有意义的矿化。

二、化探异常的研究和评价

（一）概　述

建立在矿产分散晕理论基础上的地球化学探矿方法，是最重要的找矿方法之一。从查明成矿元素和与成矿有关的元素在岩石、土壤、水体、空气和植物中的分布，发现异常指导找矿。依调查的介质不同，可分为岩石地球化学找矿（原生晕）、土壤地球化学找矿（次生晕）、水系沉积物地球化学找矿（分散流）、水地球化学找矿（水化学）、气体地球化学找矿和生物地球化学找矿等多种方法，其中以前三者应用最广，并取得了显著成效。

根据各类化探方法所圈出的各种化探异常，是重要的矿化信息和预测找矿标志。特别是对盲矿预测找矿作用很大。考虑矿床出露地表和埋藏的不同情况，将矿床大致分为五类：即出露地表的矿床、盲矿床、覆盖盲矿床和埋藏盲矿床（图2-7）。

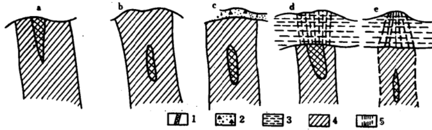


图2-7　不同剥蚀深度矿床出露示意图

（据B.И.克拉斯尼科夫，1980）

a—出露地表的矿体；　b—盲矿体；　c—覆盖盲矿体；　d—埋藏矿体；　e—埋藏盲矿体；
1—矿体；　2—残坡积；　3—外来沉积；　4—原生晕；　5—指示元素的后生晕

上述各类矿床，除少数以外，在矿体的上方均可形成不同种类的矿产分散晕，通过化探可以发现它们。化探方法是新区找露头矿，老区找盲矿的重要方法。

化探异常作为预测找矿标志具有许多特点。首先是找矿深度大，是找寻各类金属矿床，特别是盲矿床的重要标志，找矿深度可以达到百米甚至数百米。其次，方法比较简便，可以大面积进行。从区域化探异常提供区域地化场特征，区域主要异常和异常带，常常反映主要成矿带和矿化集中区或主要矿源层的展布。同时也比较清楚地反映出主要控矿因素与矿化的内在联系，从而提高勘查者的识别能力并指出找矿方向（地区、矿种、矿化类型），可以起到迅速筛选远景区，为估价区域总的成矿远景和矿产潜力指明方向。也反映了成矿元素逐步地多阶段富集的趋向，从正常场—低异常区—高异常区—浓集中心—工业矿床。因此化探异常的研究，对新矿床类型的发现和潜在矿产的评价都具有重要意义。新矿床类型的发现，一般在地球化学场研究过程中，从元素的富集趋势提出来的，而用类比法预测时往往易被忽略。从成矿元素的富集趋势还可以指出潜在矿产的找矿方向。通过化探异常，可以提高找矿者的识别能力。

（二）化探异常研究和评价的内容

整个化探工作在于发现异常，解释评价异常，尽可能发掘异常所提供的矿化信息，从异

常分布可以大致了解一个地区的矿化特征。一般在研究和评价化探异常时，应从下列几个方面着手：

1．资料的系统整理与研究

首先要做出地球化学测量的基本图件，包括单元素的等值线图、综合异常图、重要异常的剖析图（包括电算处理和统计分析的各种图件，如趋势分析、相关分析、判别分析、点群分析等）以及各种专门研究性图表。

2．异常本身的分析研究

这是评价异常的重要环节，一般包括以下研究内容：

（1）异常形态、规模和展布：有的异常成带，有的成片，联系地质和地貌等因素，分析引起异常的原因。主要考虑与岩体、某一组地层和构造的空间联系。异常规模要区别不同强度异常的范围大小。一般异常形态、规模，与所反映的地质体存在一定的联系。

（2）异常元素组合：元素组合反映了成矿特征，除了主要成矿元素的异常外，同时要注意指示元素。以矿床的伴生元素和杂质元素作为间接指示元素，可以提高找矿效果。这是建立在充分利用元素共生规律的基础上指导预测找矿。某些矿床主要成矿元素分析灵敏度较低，难于发现异常，如金矿在微量金分析未解决之前，曾用共生的Sb、Hg、Zn、As、Cu、Ag等可以易于发现异常。有些伴生元素较之主要元素活动性强，可以形成范围更大的分散晕，从而可以提高找矿深度。如Pb、Zn矿床中的Ag、As、Hg，有些矿床中的F、Cl、I等。同时还包括成矿过程中参与活动的某些特征元素，以说明矿化作用的存在，如斑岩铜钼矿床原生晕中锰的异常。利用多种元素组合（或配合矿物、地球化学资料），可以进一步预测不同的矿化类型，如长江中下游矽卡岩型矿化，Cu、Ag、Mo组合为铜钼矿床的指示元素；Cu、Ag、Bi组合为铜矿床的指示元素；Cu、Ag、As、Zn、Mo、Mn组合指示铜铁矿床。

（3）异常的强度和梯度：在分析异常与矿化联系时，要注意异常的结构。凡强度高、变化梯度大，有浓集中心的异常，往往可能与矿床有关，否则与某个地质体有关。当然影响因素较多，如矿体埋深大，亦可能表现为低缓异常，所以要具体分析比较才能做出判断。在勘探矿区，用原生晕预测具体的矿体，一般近矿则成矿元素和指示元素的含量变高，自矿体向外其含量逐步降低（见某矿床的汞原生晕剖面图2-8）。

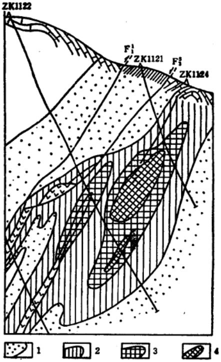


图2-8　某矿床汞的原生晕剖面图
（据长春地质学院找矿教研室，1979）
1—Hg0～0.5ppm（外带）；2—Hg0.5～3ppm（中带）；3—Hg>3ppm（内带）；4—矿体

（4）异常元素的分带性：表现为各种指示元素从异常中心向外呈现规律的有序变化，往往反映了矿化或蚀变的分带性。这包括不同组分的分带和同组分含量变化的分带（浓度分带）。在原生晕和次生晕、分散流中都极为常见。利用区域化探成果，可以有效地进行区域成矿和矿床分带的研究，如研究程度较高的长

江中下游鄂东地区，依区域化探成果，将鄂东地区的成矿从东而西分为Cu、Mo、W；Cu、Fe；Fe；Pb、Zn和Pb、Hg、Ag五个带（图2-9）对本区进行成矿预测将很有意义。原生晕的元素分带更为典型，表现为水平和垂直分带，往往被利用于盲矿的找寻。异常的元素分带性明显与否，往往是区分矿化有关和无关的重要标志之一。证实与矿化有关的晕，要从已知到未知，分析不同矿化类型各种晕的特点，同一矿化分析其头晕、尾晕、侧晕的不同特征，从而对被剥蚀深度做出评价。

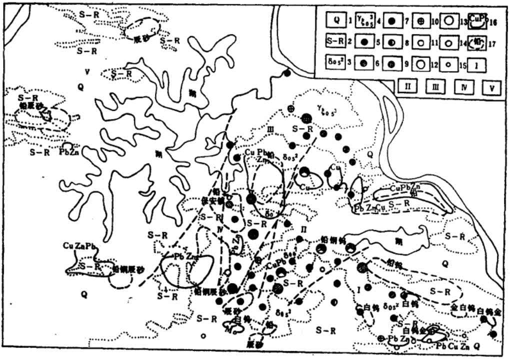


图2-9 鄂东地区成矿元素的水平分带

（据湖北省地质局物探队，1979）

1—第四系；2—志留系—第三系；3—燕山期石英闪长岩；4—燕山期石英二长岩；5—Fe；6—Cu；7—Pb；8—Pb、Zn；9—W；10—Mo；11—Au；12—大型矿床；13—中型矿床；14—小型矿床；15—矿点；16—土壤测量异常；17—重砂异常；Ⅰ—Cu、Mo、W带 Ⅱ—Cu、Fe带；Ⅲ—Fe带；Ⅳ—Pb、Zn带；Ⅴ—Pb、Hg、As带

（5）异常的统计分析：为了消除干扰，获得定量信息，对异常可以进行各种统计分析。常用的包括趋势分析、回归分析、判别分析、点群分析、因子分析等，按不同的目的和资料的可能进行深入研究。

通过上述分析，可以从已知到未知建立各种异常模型以指导异常评价。

3．异常地质背景的分析

各类异常的出现，与一定的地质背景有关。首先分析异常的空间分布与地质因素的联系，在此基础上进一步分析异常形成的可能原因。如贵州毕节幅的Cu、Pb、Zn异常，于图幅东南部震旦系地层中见Cu、Pb、Zn异常，异常强度高，变化梯度大，与已知有色金属矿化点有关，有优先找矿的意义。图幅的南部和西部与玄武岩风化有关的异常，有一定的找矿

意义。而三叠系飞仙关组和夜郎组地层中铜异常，多为零星低缓异常，其成因不明，找矿次序排为第三。

异常评价一定要联系地质背景。在利用化探资料同时，要综合利用地质、重砂、物探等多方面的资料。

4. 异常预测找矿意义的评价

在上述综合研究基础上，对各类异常的预测找矿价值，要做出初步的解释和评价。如皖浙赣三省交界地区，利用原有资料进行系统整理，其中对铜异常的分析可以看出已知矿区德兴铜矿、银山铅锌矿有明显的反应，矿区处于40ppm“高原”上，异常延展160km²，在“高原”上耸立几个浓集中心，浓集中心出现部位与已知矿区基本一致。不同地层显示了不同的背景，从而对11252km²范围找矿远景进行了预测。

5. 异常的验证检查

在异常综合分析基础上，择其最有远景的首先验证检查，包括现场踏勘、加密取样、直至用工程揭露验证。可以不断提高异常评价的水平，不断发掘化探异常所提供的多种矿化信息，在预测找矿中发挥更大的作用。对于一些难以识别的矿床，化探方法更是最为重要找矿方法之一。

第四节　物探异常的研究和评价

物探异常是重要的矿化信息。为预测找矿提供了重要线索，发挥了重要作用。60年代以来积极开展面积性的区域物探工作，同时重视坑下井下物探工作，前者对区域构造和深部构造研究极为重要，后者对盲矿的找寻，发挥了重大作用，大大提高了找矿工作的速度与效果。所用的方法涉及物探方法的全部领域，包括磁法、电法、重力、地震、放射性，也包括古地磁、热流值测定等。目前效果较好、应用较广的是航空和地面磁测、重力和放射性测量。地震法用于勘查石油、地壳分层。各类电法，主要用于找寻金属硫化物矿床，广泛应用于确定盖层厚度，矿体、岩体及控矿构造产状等。

物探异常的研究和评价要尽可能区分“矿”与“非矿”异常，查明确定异常的找矿远景。为此首先要结合地质资料，将异常群分类排队、分区分带，对全区异常的分布、强度及组合特征有初步的了解。在此基础上进行筛选，选出可能与矿有关的局部异常。以磁异常为例局部异常可以按其规模、形态和找矿意义区分为如下三种类型：

(1) 走向明显，延展范围很大很长的异常，这可能反映断裂构造带、火山岩带、基性-超基性岩带或者沉积变质型、沉积改造型矿床；

(2) 范围大，近等轴状的异常，可能反映不同埋深的各种岩体或细脉浸染型矿床、风化沉积型矿床；

(3) 规模不大，出现在一至数条测线上的小型异常，这类异常多数是小岩体、岩株、岩墙的反映，但有时是脉状、透镜状矿体的重要信息，应注意识别。

对于以上各类局部异常，均要分析研究其产出的地质位置，根据是否具有良好的成矿地质条件，进一步评价它们的找矿远景。一般来说，具备以下条件的异常，可以认为是有找矿意义，应该列为异常检查或进步工作的对象：

(1) 异常本身特征，包括异常强度、形态和产状等，与已知矿异常相似，可以推断为可能地下矿体引起，值得进一步工作。航磁地磁异常在平面等值线图上的形态往往很相似。但

当几个磁性地质体邻近分布时，航磁异常则是地磁异常群的综合反映，这时在航磁图上表现为单峰异常，而地面检查时则出现多峰叠加异常，两者之间形态上可以有较大的差别，值得注意。

（2）异常群的分布排列有一定的规律性，反映了异常的空间分布与某种成矿地质条件有一定联系。例如在宽缓磁异常的边缘或背景上，有次级异常呈串珠状"规则"地排列时，很可能是反映了侵入接触带上的矽卡岩型铁矿床的分布。

（3）异常所处位置具有一定的成矿地质条件，例如位于基性超基性岩带的磁异常，是寻找岩浆矿床的有利标志；位于前寒武系变质岩中的磁异常，可能是变质铁矿床的指示；位于中酸性侵入体与碳酸盐岩层接触带及其附近的磁异常，往往是寻找矽卡岩型矿床的依据。

在异常解释与评价中，要注意对弱缓异常的评价。当矿或地质体埋深较大时，往往表现为弱缓异常。淮北、邯邢和莱芜等地均从低缓异常的深入研究而找到新矿体，是成功的范例。关键要与地质结合，采用综合方法，广泛应用电算处理，加强试验研究。如将斜磁化换算成垂直磁化，可使异常简化，采用不同高度计算而消除浅部干扰，高次导数处理，可以提高分辨力，达到突出矿体、压控干扰的目的。采用二、三种物探方法综合应用，可以起到互相验证检查的目的，值得提倡。国外苏联、瑞典等国，开始只单纯用磁法，对红铁矿效果很差，漏矿丢矿严重。后来，摸索出以磁法结合重力而取得很好的效果。我国安徽、江苏用磁重结合对长江中下游内生铁铜矿床进行预测评价也取得成功。已知内生铁铜矿化多产于高磁异常带和区域重力高的边缘带内，如宁芜、庐纵等矿区、淮北矽卡岩型铁矿，均位于重力高边缘的磁异常中。铜官山、狮子山等矿区位于磁高重力高的边缘或过渡梯度带中。

其它各种物探方法，在矿床勘查评价中，都得到广泛的应用。不拟一一赘述。

第五节　各种矿化信息的综合评价，建立综合信息找矿模型

随着研究程度的提高，找矿难度的增大，为了不断提高勘查效果，要在全面研究各种矿化信息的基础上，总结成矿规律，划分不同级别的成矿（区）带，不断提高地质研究水平。地球物理方面相继开展了区域性物探填图、构造分区和深部地质等方面的研究工作。化探工作广泛开展了区域性化探扫面工作，配合重砂测量，并在取样分析和测试水平方面也有很大提高。这对提高勘查者的识别能力，起着重要的作用。各种勘查成果，建立各种数学模型，广泛地应用计算机进行数据处理，从而使定量预测评价向前迈进了一大步。

运用地质、物探、化探、重砂及遥感等综合信息，并将其有机地结合起来，互相补充和验证。关键是对各种信息进行充分地地质解译，落实到成矿规律总结上，确定矿床分布的综合评价标志。

为了建立综合信息找矿模型，要遵循从已知到未知的原则，确定典型的地质体、矿床或矿体与各种信息间的相关联系，以指导相似和邻近地区的预测评价。首先要分别对各种信息分析对比，做出地质解释。在此基础上着手将所有与矿化有关的信息综合分析对比，进行综合预测评价。

根据王世称教授的经验，从应用较广的航磁资料为例，通常以平剖图为磁场识别的基础

图件，通过数据处理对磁场进行滤波和转换，突出磁场某种特征。从区域性磁场特征和局部磁场特征，对地层、构造岩体矿化等进行圈定。分析其各自的磁场特征，按不同的目的，选择不同的数据处理方法，包括向上延拓、不同高度延拓、不同方向的求导、向下延拓和垂直二阶导数求导等。并做出各自图示。向上延拓图示对不同地质体或断裂的侧伏、倾伏等易于查明；不同高度和方向的求导图示，为的是确定导岩导矿断裂的构造位置；向下延拓和垂直求导图示主要是研究局部磁场的特征。通过数据处理，提高了对各种磁场的识别能力，查明地质体间微小的磁性差异标准，最终提高了地质解译水平。

以地质为基础，综合分析各种矿化信息，按矿种和不同矿床类型，分别建立综合信息找矿模型，各自有其特定地质规律和最有效的勘查评价方法与程序。作为勘查评价的理论指导。将大大提高勘查工作者的识别能力和预测能力。

参 考 文 献

[1] 李文达等，1980，长江中下游硫化物矿床氧化带及铁帽评价研究。地质出版社。

[2] 朱亮璞等，1981，遥感图像地质解译教程。地质出版社。

[3] 普.阿.舍赫特曼等，1982，热液矿床详细构造预测图，石准立等译。地质出版社。

[4] 简.库廷纳，1982，全球构造与成矿学。大地构造与成矿学，第二期。

[5] 侯德义等，1984，找矿勘探地质学。地质出版社。

[6] 陈华慧等，1984，遥感地质学。地质出版社。

[7] А.А.Якжин.1959, Поиски и разведка Месторождений полезных ископаемых. Государственное Наунно-техническое издательство щтературы по геологии и Охране недр Москва.

第三章　成矿规律研究

成矿预测是一项战略性的地质工作，它的科学基础是成矿理论和成矿规律。由于近30年来人类对矿产资源的需求量迅速增长和地表易找易采的矿床越来越少，找矿遇到了难度加大、费用增高、矿床发现率下降的新形势。面对新的挑战，大力加强成矿规律研究，以成矿规律指导矿产预测，已是刻不容缓的严重任务，正受到越来越多的国家所重视。

地壳中各种类型矿床的出现，并不孤立、杂乱，总有规律可循。把矿床的产出同周围地质、地球化学背景和构造环境联系起来进行深入研究，并在此基础上阐明矿床时空分布规律和成生规律，是成矿规律研究的主要内容和重要方向。

所谓成矿规律，指的是矿床形成和分布的空间、时间、物质共生关系以及内在成因联系等的总和。因此从空间来说，它可以表现为地理上的分布规律（成矿区域）；从时间上来说，它可以表现为地史上的分布规律（成矿时代）；从矿质的集聚来说，它还可以表现为矿床、矿体和富矿段的形成和分布规律以及矿种和矿床类型的共生规律。

造成矿床在空间上和时间上分布规律的基本原因，除了形成矿床的元素本身的地球化学特性外，应当是控制成矿的各种地质条件。前面我们已研讨了控矿地质因素，后面我们将阐明由这些因素所制约的一些成矿规律。

由于矿床是局部出现的复杂地质体，是成矿物质在一定地质发展历史阶段和构造环境中多次活动、长期演化、高度聚集的产物。因此要取得对成矿规律的正确认识，必须从时间、空间和物质组成三方面着手进行辩证的综合分析。虽然综合分析的工作十分复杂，但我们应该坚持这个方向，努力提高成矿规律的研究水平，以期更好地为矿产预测和找矿勘探服务。

成矿规律的认识来自生产实践，又必须回到生产实践中去。成矿规律的研究涉及面广、综合性强、比较复杂，直到今日很多研究成果并不成熟。下面我们介绍的基本内容是在成矿规律研究中经常遇到的，其中有些是带规律性的东西，有些只是正在探索中的问题，有些只是经验总结，还缺乏深入的理论分析，有待今后在生产实践中加以检验。

第一节　成矿物质来源的规律

一、概　　述

矿源问题，特别是内生成矿的矿源问题，是成矿规律学基本理论问题之一，也是矿床学复杂而棘手的问题之一。当代人们注意的焦点，主要集中在成矿区内各种各样的成矿物质是从哪里来的？某些具体矿床大量富集的成矿物质又是从哪里来的？人们不仅要求解决这些根本性理论问题，而且也要指导类似地区、类似矿床的预测找矿实践。但这样一个基本问题，长期以来未获得较大的进展。由于问题十分复杂，内生成矿过程无法直接观察，过去限于生产规模狭小和科学水平，对这个问题很难深入探讨，但某些初步设想和假说，在成矿理论和矿床成因分类方面已或多或少有所反映。在矿床学萌芽时代，发生过有关矿床成因的“水成论”和“火成论”之争。自本世纪初叶，W.林格仑、P.尼格里和H.史奈德洪等人先后提出

矿床成因分类，这些分类在当时起过一定的积极作用，但存在根本的缺陷。因为这些分类都是以鲍文的岩浆分异和岩浆演化学说为基础的。鲍文假定，所有的火成岩都属于原生岩浆岩，而且都是由玄武岩浆经分异依序而形成的（岩浆一元论）。凡所有与火成岩有关的矿床，都被认为系岩浆作用的产物。由于现代科学技术的迅速发展，实际资料的大量积累，对岩浆和矿质来源的认识大大提高了，人们发现原生岩浆本身是复杂的，并非只有单一玄武岩浆；花岗岩类岩石有不同的成因类型，成矿热液也不只是岩浆热液一种。新的事实冲击着原有的成因概念，这样，许多与花岗岩类岩石有关的矿床，就不能再简单地认为系单一玄武岩浆体系分异而来的了。近些年来，在许多规模巨大、具重要经济价值的矿床分布区内，或者根本没有发现火成岩分布，或者发现一些火成岩，但经详细研究后，表明它们的形成远在成矿之前或之后，或者可证明它们确与成矿无任何直接的成因联系。

由于林格仑等人的分类学说，其理论基础（鲍文的一元岩浆演化论）存在根本的缺陷，其认识和实际之间也存在很大的距离，因此随着生产的发展有“多源成矿论”的提出，并为人们所广泛接受。

1963年谢家荣教授根据新的事实把矿质多来源划为四大类，并据此进行了新的矿床成因分类。这四大类即：硅镁层玄武岩浆来源、硅铝层再熔化混合岩浆来源、地壳表层来源和地面来源。同时，他把这四种不同的来源与地球物理上业已确认的莫霍不连续面、康拉特不连续面、地下水下降冷水与上升热水的不连续面以及岩石圈与水圈气圈间不连续面相联系起来。我们认为，这是一种进步了的、相当有意义的分类，正为国内外更多的人们所理解和重视。

随后，徐克勤教授（1973）将内生矿床的矿质来源分为三类：① 来源于上地幔（硅镁层）；② 来源于地壳硅铝层（多次花岗岩化）；③ 与火成岩无关，但与地下水活动有关的矿床，金属物质从围岩中淋滤和溶解而来。

1978年张秋生教授指出，矿质来源只可能有四个途径，但搬运矿物的介质的来源和性质却很复杂。他将矿质来源分为：上地幔源、地壳深部源、地壳表部源和宇宙源四类。除宇宙源尚有争议外，主要是三大来源（表3-1）。

表3-1 矿源和矿床类型一览表

（据张秋生，1978）

矿源	搬运矿物的介质		形成深度	矿床类型	矿床成因类型（主要的）	主要实例
宇庙源	“岩浆”	硅酸盐熔体		I	岩浆熔离铜镍（铂）矿床	加拿大肖德贝里（？）
上地幔源	原始岩浆	硅酸盐熔体	深成	I_a	深成岩浆结晶分异铂、铬矿床，岩浆熔离铜镍（铂）矿床	中国吉林红旗岭、南非布什维尔德
			浅成	I_b	金伯利岩中金刚石矿床、稀有元素碳酸盐矿床、安山岩（玄武岩）中磁铁矿床	南非德兰士瓦金伯利、中国华北金刚石，坦桑尼亚碳酸盐中稀有元素、智利拉科铁矿
地壳深部源	重熔岩浆	硅酸盐熔体	深成	I_a	碱性岩中稀有-磷矿床伟晶岩矿床	苏希宾、辽宁赛马、秦岭官坡
			浅成	I_b	斑岩型铜钼矿床	江西德兴、西藏玉龙铜矿、河南南泥湖钼矿

续表3-1

矿　源	搬运矿物的介质		形成深度	矿床类型	矿床成因类型（主要的）	主要实例
地壳深部源	岩浆热液	气水溶液	深　成	Ⅳa	混合岩化热液矿床，矽卡岩矿床，高、中、低温热液矿床	辽宁硼铁稀土矿床，湖北、山东铁矿，江西钨锡矿，湖南桃林铅锌矿
			浅　成	Ⅳb	高、中、低温热液矿床	智利铜电气石矿床、捷克矿石山五元素矿床（U-Ag-Bi-Co-Ni）自然金矿床
			地表及水下喷出	Ⅳc	块状硫化物矿床，硅铁、硅锰古沉积矿床，海下卤水矿床	甘肃白银厂、塞浦路斯铜矿，日本黑矿，红海卤水，鞍山铁矿，印度锰矿
	变质热液	气水溶液		Ⅴ	磁铁石英岩中交代型富矿，阿尔卑斯脉矿床	鞍山铁矿
	地 表 水	热水溶液	深部热水	Ⅵ	灰岩（白云岩）中层状铅-锌矿床	美国密西西比
地壳表部源	地 表 水	水 溶 液	深部热水	Ⅶa	灰岩中层状铅锌矿床	加拿大潘音泡特
			表　部	Ⅶb	沉积矿床，风化矿床	

B.И.斯米尔诺夫（1968）将内生成矿的矿质来源分为三大类：① 与玄武岩浆有关的壳下初生源；② 与花岗岩浆有关的地壳同化源；③ 非岩浆的渗滤源。

综上所述，矿质多来源已广为人们所接受。关于矿源的划分，按现有研究水平，目前虽然比较粗略，但代表了新的方向。其中内生成矿的矿质来源最为复杂，也最值得研究，下面将对它详加论述。

二、内生成矿物质的三大类来源

目前国内外普遍公认，内生成矿物质有三大来源，兹将其成岩成矿特征叙述于后：

1. *成矿物质来源于上地幔（硅镁层）*

主要来源于莫霍面以下，甚至岩石圈以下的软流层，但也可能有一小部分来源于地壳深部玄武岩—辉长岩中。这类矿床包括：

(1) 橄榄岩、辉石岩、及纯橄榄岩中的Cr、Pt矿床；

(2) 金伯利岩岩筒中的金刚石矿床；

(3) 苏长岩、辉长岩、橄榄苏长岩中的Cu-Ni硫化物矿床；

(4) 辉长岩、斜长岩及橄榄辉石岩中的V-Ti磁铁矿矿床；

(5) 火成碳酸岩岩管中的Nb-Th、稀土矿床；

(6) 闪长岩、安山岩带有关的磁铁矿-赤铁矿和磷灰石-磁铁矿矿床；

(7) 矽卡岩型Cu、Cu-Fe矿床；

(8) 黄铁矿型铜矿床；

(9) 斑岩型Cu、Cu-Mo矿床等。

上述矿床大部分分布在地槽活动带，早期有黄铁矿型矿床、岩浆型矿床，中期、晚期有矽卡岩矿床、斑岩型矿床等。环太平洋的内带以及岛弧构造带，地中海、高加索、中亚细亚地震火山带以及各地质时代的优地槽带，都广泛发育此类矿床。另一部分则产

于地台深断裂带，如非洲阿扎尼亚布什维尔德岩盆，金伯利岩岩管及碳酸岩岩筒等。总之，此类矿床最主要的区域控矿因素是引起上地幔变动的大构造带（如深断裂带，不同构造单元交接带等）。火成岩的岩石类型，则主要以基性-超基性岩带以及安山岩带为主。此类矿床中所含成矿元素主要为亲铁元素（如Cr、Pt、Ti、V、Au等）其次为亲硫元素(如Cu、Mo、Pb、Zn等)，只是火成碳酸岩矿床中的Nb、Th、TR，比较特殊，属亲氧(石)元素。此类矿床的硫同位素属陨石型，成矿物质直接来自上地幔、软流层或其分熔分异的产物。

2. *成矿物质来源于地壳硅铝层*

矿质来源于原始大陆地壳（包括沉积岩、火山沉积岩及一部分早期的侵入岩等）的重熔，也有人认为来源于陆壳多次花岗岩化、混合岩化的深度变质作用，使成矿物质活化，转移和再集中。这类矿床包括：

① 伟晶岩型Nb、Ta、Li、Be、Rb、Cs、W、Sn、Mo、U、Th矿床；

② 气化-高温热液W、Sn、Mo、Bi、Li、Be、Nb、Ta、Au矿床；也包括在碱质交代（钾长石化、钠长石化、黑云母化等)的花岗岩中呈浸染型的Nb、Ta、TR、Zr(Hf)、Be、W、Sn等矿床；

③ 矽卡岩型Be、Sn、W、Mo、Bi、Pb、Zn、Cu等矿床；

④ 中低温热液Pb、Zn、Ag、Sb、Hg、Au、As、U矿床。

这类矿床的成矿元素可划分为两组：

① 花岗岩类特征元素组：如W、Sn、Be、Nb、Ta、U、Th、TR、Li、Rb、Cs等，除极少数属亲铁元素(如Au)和具亲硫性的元素（如Sn）外，几乎全部为亲氧元素，这与第一大类来源相比较，具有极明显的差别。

② 非花岗岩类特征性元素组：如Pb、Zn、Ag、As、Sb、Hg、Bi等，大多数为亲硫元素。

这类矿床的硫同位素组成比较复杂，基本上属于$[SO_4]^{-2}$型和生物硫型。

这类矿床的另一特征，是具有地质时代上的不均匀性。以钨为例，前寒武纪成矿期世界产钨很少，加里东至海西期逐渐增多，但主要产量系来自中生代燕山期，第三纪也有一些重要矿床，总的趋向是富集于时代较新的花岗岩中。其它如Sn、Be、Nb、Ta、U和钇族稀土也有类似的趋向。西欧（海西期钨矿）、南美玻利维亚（第三纪钨锡）也有类似现象。总之，花岗岩在不断演化，使这些元素愈来愈向相对晚期花岗岩集中而成矿。

值得指出，在地槽带中，特别在优地槽中，前寒武纪区域变质及花岗岩化往往使金富集成矿。在环太平洋的第三纪火山活动带中，有不少新的金矿，可能与安山岩类同源，这跟前寒武纪地盾区与绿岩带有关的金矿有所不同，但以世界产量来说，前寒武纪地盾区产金最多。

这类矿床在区域分布上，多集中于环太平洋成矿带的外带。不同区域，花岗岩所联系的矿产往往不同，甚至同一地质时代的花岗岩类，在不同大地构造单元和不同地区内，其成矿也有差异。由于这类矿床的成矿物质，连同花岗岩类本身在内，都主要来源于地壳的硅铝层，其中主要成分大都辗转来自沉积岩和火山岩等，显然其中物质成分已经过不同程度的重熔或花岗岩化的改造，但还没有达到均一化的程度，（这点与真正岩浆岩有很大的差别）。因此在不同地区、不同时代、不同大地构造单元的花岗岩，其成因可能不同，其含矿性也有较大的差异，这点应在预测找矿中注意。

3. *成矿物质来源于地壳表部（渗滤源）*

这类矿床的成矿作用，与火成岩无关，但与地下水活动有关。由于地下水的活动，从围

岩中溶解和淋滤的金属物质而沉淀于某些岩层中，成层状、似层状展布；也可以沿着某些断裂、裂隙沉淀而成脉状、囊状矿床。这类矿床包括：

① 灰岩白云岩中的铅锌矿床；

② 层状铜矿床，如非洲赞比亚及扎伊尔"铜矿带"的砂岩铜矿及白云岩中的层状铜矿；

③ 红层铜矿床；

④ 砂岩铀钒矿床；

⑤ 一部分层状和脉状汞矿床等。

这类矿床，矿物成分简单，一般金属含量低，但面积大、规模大。成矿元素主要为亲硫元素（Pb、Zn、Cu、Hg），其次为亲石元素（U、V等）。硫同位素具$[SO_4]^{2-}$及生物硫特征。

这类矿床多半分布于地台区，在地槽褶皱后期地堑式拗陷盆地中，如我国东部中、新生代红色盆地。矿床附近大面积内无火成岩出露。含矿层位可以是多层的，不同地区含矿层位往往有变化。成矿温度较低，一般几十度到200度。成矿物质多半来自区域内沉积岩层、火山岩层以及盖层之下的基底岩层，甚至可能来自附近某个经过沉积作用或火山沉积作用而元素达到初步富集的"矿源层"。

以上所述三大类来源中，第一类成矿物质与搬运介质的同源性比较明显；后两类则可以同源，也可以不同源（即异源），而且介质的性质也有较大的差别，情况比较复杂，需要具体分析。

三、矿质来源的判别标志

关于矿质来源的判别，主要根据地质和地球化学的综合研究、分析类比，其主要判别标志列举如下：

（一）地球化学标志

1．稳定同位素组成

这是近30年来发展起来的重要的微观判别标志，正为人们所广泛应用。我国用得最多的是硫同位素，其它如氧、碳、氢、锶、铅等同位素的应用，也正逐步开展。下面以硫同位素为例加以说明。

硫是硫化物矿床中重要元素之一，也是铜、铅、锌等（亲硫元素）多种金属元素的沉淀剂。随着硫同位素资料的积累，人们发现各类矿床在硫同位素方面存在一定的差异与规律，这对解决矿源问题具有重要意义。硫有^{32}S、^{33}S、^{34}S、^{36}S四种稳定同位素，而且就目前所知，它们都不是放射性成因的。因为硫广泛分布于许多矿床，它们的同位素组成没有铅同位素变化那么复杂，所以具有很好的代表性。决定硫同位素分馏的因素是温度、生物作用、氧逸度、矿液的pH值等。

硫在高温时同位素组成比较简单，轻重同位素的比值变化范围较小。硫在外生条件下，是一种亲生物的元素，硫细菌可以还原硫酸盐生成H_2S，但是生物硫的同位素组成比较复杂，轻重同位素的比值变化范围非常宽广。

目前研究矿源时，通常用两个重要比值：$^{32}S/^{34}S$和$\delta^{34}S‰$。

$$\delta^{34}S‰ = \frac{^{34}S/^{32}S(\text{样品}) - ^{34}S/^{32}S(\text{标准})}{^{34}S/^{32}S(\text{标准})} \times 1000$$

$^{34}S/^{32}S$（标准），国际上采用陨石硫的同位素资料作为对比标准，因为：

(1) 硫是陨石中常见的重要组分，陨石中$^{32}S/^{34}S=22.220$，其变化范围仅为0.03～0.05，说明陨石中硫同位素是稳定的，也说明基本上没有发生过分馏作用。

(2) 陨石中$^{32}S/^{34}S$比值（22.220）与地球的$^{32}S/^{34}S$平均值很一致，因此人们推想地球形成时，其硫同位素组成与陨石相同。

(3) 陨石的$\delta^{34}S$‰与行星的$\delta^{34}S$‰极为一致（月球+5‰），说明陨石起源于太阳系。

以上几点说明，陨石$^{32}S/S^{34}$是一个极为稳定的数值，又相当于地球平均值或未分异前原始地球表面的数值。它完全可以代表一种未经受后期分馏作用影响的硫同位素数值，这样的数值作为类比标准是理想的。

1962年以来，国际上采用美国亚利桑那州坎扬迪亚布罗（Canyon Diablo）铁陨石中的硫铁矿的$^{34}S/^{32}S=0.0150045$（缩写为CD）作为统一对比标准。$\delta^{34}S$‰就是测试样品相对于标准样品（即指CD）偏离程度的千分率（δ‰）表示，（即相对富集度）。当$\delta^{34}S=0$‰时，即说明样品中$^{34}S/^{32}S$比值与陨石硫相同；当$\delta^{34}S$为正值时，说明样品中^{34}S比陨石硫偏高；$\delta^{34}S$为负值时，说明样品中^{34}S比陨石硫偏低。$|\delta^{34}S|$值越小，偏离越小；$|\delta^{34}S|$值越大，则偏离越大。陨石硫$\delta^{34}S=|0‰|$，而生物成因的硫$\delta^{34}S=|30‰|$（图3-1）。

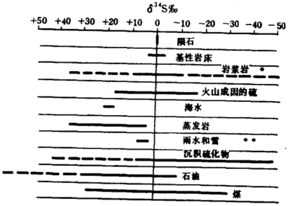


图3-1 硫同位素在自然界中的分配

（据H.G.Thode，1963）

* 包括花岗岩化或改造后的沉积物　** 不包括工业区的雨和雪

根据$\delta^{34}S$资料分析，大部分或全部与基性、超基性岩有关的Cu-Ni硫化物矿床、Cr-Pt矿床、含铜黄铁矿型矿床等，$\delta^{34}S=|5‰|$，即变化范围很窄，平均值接近于陨石型0点中心线。这类矿床硫同位素组成同陨石硫的类似，表明矿石硫主要来源于上地幔。例如我国红旗岭Cu-N矿床$\delta^{34}S=-2$‰，底部矿体浸染状矿石硫同位素组成$^{32}S/^{34}S$为22.23～22.24，上悬矿体浸染状矿石的$^{32}S/^{34}S$为22.22～22.23，变动很小，说明矿床中硫具有单一来源和矿床在相同的理化条件下形成的特点（图3-2）。

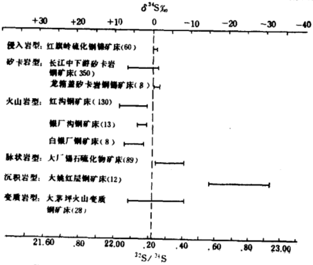


图3-2 我国某些类型硫化物矿床的硫同位素组成

（据桂林冶金地质研究所，1973）

大部分与花岗岩类有关的W、Sn、Nb、Ta、Pb、Zn等热

液、气成热液矿床和成因有争议的矿床，其$\delta^{34}S$约为|5～10‰|。这当中岩浆热液成因的矿床，其硫同位素组成偏离陨石硫组成较小，每个矿床内$\delta^{34}S$的变化范围也相对较窄；而非岩浆成因热液矿床则不同，其硫同位素组成偏离较大，$\delta^{34}S$变化范围也宽广得多（图3-3）。例如大厂锡石硫化物矿床中，97个硫化物样品的硫同位素分析结果，表明$\delta^{34}S$可由+0.19‰变化到-8.49‰，这可能与多阶段成矿，并且多伴有氧化还原条件的改变有关。

渗滤源矿床及沉积、沉积变质矿床、如碳酸岩中的铅锌矿床、含铜砂页岩矿床和含铀砂岩矿床等，其$\delta^{34}S$偏离较大，$\delta^{34}S$=|40‰|，变化范围宽广。关于它们的成因，过去一直有争议，现在根据硫同位素资料，可以清楚表明它们的形成与生物作用有密切关系。如美国科罗拉多沉积铀矿的$^{32}S/^{34}S$变化在22.10—23.30之间（图3-3）。我国大姚砂岩铜矿硫化物的$^{32}S/^{34}S$为22.57—22.94，$\delta^{34}S$由-15.20‰到-31.4‰（图3-2），便是其例。

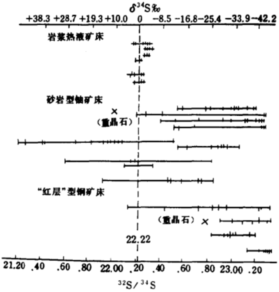


图3-3 岩浆热液矿床及成因有争议热液矿床硫同位素组成比较
（据M.L.Jensen，1967）

图3-4所示，砂岩型铀矿床与热液型铀矿床的$\delta^{34}S$‰值出现频率很不相同（前者具宽广的跳跃现象，后者具明显的集中波峰），形象地说明它们偏离值、变化范围的不同，也即矿质来源的不同。

2．元素共生组合特点

这是个重要的参考标志，可与其它标志配合运用。如有人将主要成矿元素分为三类：即地壳元素（Li、Be、Rb、Cs、Sn、Ta、TR、U、B等），贯通元素（Pb、Zn、W、Mo、Ba、Sr、Nb、F等）和深部元素（V、Cr、Ni、Co、Ti、P等），从其不同的元素组合，可以指明矿质的大致来源。长江中下游玢岩铁矿石中，Ti、V、Cr、P微量元素组合的广泛出现极为特征，对矿质来源的判断和矿床成因系列的确定起了重要的作用。

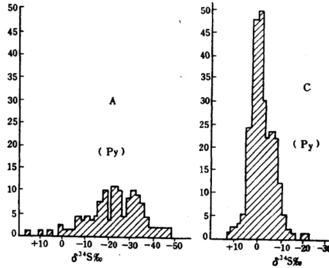


图3-4 两个不同成因铀矿床的$\delta^{34}S$‰值出现的频率
（据《矿源与成矿》，1975）
A—砂岩型铀矿床（美国怀俄明州）；C—中深岩浆热液铀矿床（美国犹他州）

此外，元素之间的比例也被用来说明矿质的可能来源。如鲁德内依阿尔泰Cu、Pb、Zn三者比例为1∶1∶3，与酸性岩石中比例一致；而卡累利阿、乌拉尔等地黄铁矿型矿床，则相当于基性岩中的比例，因此可以说明其不同来源。

（二）地质标志

矿床的成矿特征和产出的地质背景，在一定情况下，能作为成矿物质来源的判别依据。最重要的特征之一是这些矿床与某些火成岩有密切的、固定的野外联系。例如岩浆型Cr-Pt矿床、Cu-Ni硫化物矿床与基性、超基性侵入体的稳定联系，如果认为这些侵入体是直接来自上地幔的产物，那么与此类侵入体有稳定亲缘联系的Cr-Pt、Cu-Ni矿床，也同样来自上地幔。当然超基性岩只是作为矿液的沉淀剂的情况也是有可能的，因此认真调查其野外联系显得十分必要。

至于许多伟晶岩矿床和气成热液矿床的产出与花岗岩类有关，而花岗岩类本身除分异者外，绝大多数是因地壳岩石的重熔再生作用而形成的，判断矿源应该联系地质背景，因此这些伟晶岩和气成热液矿床也通过同样的地质作用而形成，是非常有可能的。

第二个标志是矿床在空间上、时间上的分布。由空间时间的稳定关系，推测成因和来源上的关系，这与矿床分带和大地构造位置有关。如在地槽带发育的晚期与斑岩有关的Cu-Mo矿床，可能与斑岩一样来自地壳深部或上地幔。又如矿区内有多种岩体存在，矿化只围绕某一岩体呈水平或垂直带状分布，则说明矿化与该岩体有关，而且可能同源，与矿区内其它岩体则无关。

第三个标志是同类矿床产出范围的大小。有的成矿带（区）有极大的延伸，其水平方向的延长远远大于地壳的全部厚度。因此可能表明这样的成矿带其成矿组分应来源于深地壳或上地幔。

此外，在一定矿区查明矿液的流向、矿床分带和蚀变分带也有助于说明矿质来源的方向。至于矿床的许多其它性质，如矿体形态、产状、矿石构造结构、矿物共生组合等，只不过是由于矿物沉淀和结晶时某些物理化学条件（包括温度、压力、浓度、pH值等）、构造和围岩条件的不同所造成，而不一定是矿源不同所引起，因此不能作为矿质来源的判别依据。

上述各类标志，运用时必须综合分析，互相验证。其中稳定同位素标志、岩浆岩成矿专属性和岩浆岩与矿床的成生联系的实际证据，是较可靠的标志；其它标志如大地构造位置，矿床时空分布等是参考标志，仅起辅助作用。

四、地壳历史发展过程中内生成矿物质来源的演变

研究表明，在地壳历史发展进程中，内生金属成矿上述三大类矿质来源所占的比重是很不同的。

众所周知，在太古代形成了原始地壳，它还没有地槽与地台之分，此时地壳较薄，理应玄武岩类有关的上地幔源矿产占优势，但实际上很少出现，这可能与玄武岩浆分异尚不充分或与后期变质作用改造有关（如由含金基性火山岩变质后形成含金绿岩带）。

到元古代，区域变质作用仍然起着重要作用，但地壳已经产生了地槽与地台的分化，地槽中出现了玄武岩类和花岗岩类岩浆活动，成矿物质来源变得多样化。这一时期的重要特点是在地槽内和地台上产生了特殊的层状沉积岩系和火山-沉积岩系，其中含有大量的分散状成矿物质。于是便形成了最早的陆源硅酸盐岩系，其中含有大量的分散状态的U、Au、Cu、

和Mo，稍后则出现溶液沉积和生物成因的碳酸盐岩系，其中含有同样呈分散状态的大量的铅、锌、钡和氟。以后这些广泛分布的含矿岩系便成为形成一系列深壳源和渗滤源矿床的重要基础，尤其是成为形成U、Pb、Zn、Cu矿床，可能还有Mo、Au和其它一些金属矿床的重要基础。

晚元古代以后，成矿物质来源发生进一步演变，起初壳下源所起的作用逐渐增大，然后从印支-燕山期开始，深壳源明显地超过了它。

总之，在太古代和元古代初，地壳的硅铝层部分尚未发育成熟，玄武岩类岩浆产物应该占优势，但奇怪的是它们很少出现。以后随着玄武岩类分异程度的增高，上地幔源与玄武岩类有关的矿床逐渐增多，到海西期达到最大数量，而往后则又减少。

地壳深部来源，最初在整个太古代和元古代，很大程度上与全球性变质作用形成的深熔花岗岩和再生花岗岩有关，以后一直到阿尔卑斯期，岩浆花岗岩（包括地槽型和地台型花岗岩）在其中起着越来越大的作用。

渗滤源在地质历史的早期阶段，以变质渗滤源为主，而在晚期阶段，则主要是非变质渗滤源，即由地下水热液渗流过各种岩石时从其中滤取了成矿物质而造成的。

五、地壳不同构造单元内生成矿物质来源的特点

在地壳三大构造单元——大陆、洋底和它们之间的过渡带中，内生成矿物质来源的比例关系大不相同，三者中以大陆上内生矿床的成矿物质来源最为多种多样。

1．大　陆

在地槽阶段的早期，产生四种主要岩浆建造及有关矿床：

① 含岩浆型Cr-Pt矿床的橄榄岩建造；

② 含岩浆型Ti-V-磁铁矿床的辉长岩建造；

③ 含矽卡岩型Fe-Cu矿床的斜长花岗岩建造；

④ 含黄铁矿型Cu-Zn-Pb矿床的海底火山细碧角斑岩建造。

研究表明，上述矿床的矿质来源，都是与壳下玄武岩浆有关。

在地槽阶段的中期，形成两种主要岩浆建造及有关矿床：

① 含矽卡岩型和热液型W、Mo矿床的花岗闪长岩建造；

② 含伟晶岩型、钠长岩型、云英岩型和高温热液型Sn、W、Li、Be矿床的花岗岩建造。

与早期不同，这类矿床的矿质来源都是与地壳花岗岩浆有关。

在地槽阶段的晚期，形成两种主要岩浆建造及有关矿床：

① 含热液型有色、稀有、贵金属和放射性金属矿床的浅成小侵入体建造；

② 含火山热液型有色、稀有、贵金属和放射性金属矿床的陆相安山-英安岩火山建造。

这类矿床的矿质来源最为复杂，同三大来源都有关系。

地台阶段和地洼（地台活化）阶段，形成下列主要岩浆建造及有关矿床：

① 含金刚石金伯利岩建造；

② 含稀有、稀土金属（Nb、TR、Th）碳酸岩的碱性岩超基性岩建造；

③ 含岩浆型Cu-Ni硫化物矿床的暗色岩建造；

④ 含稀有金属和稀土金属矿床的碱性岩建造；

⑤ 含热液型Sn、W、Mo、萤石等矿床的花岗岩建造。

以上前三种建造来自壳下玄武岩浆初生源，后两种来自地壳花岗岩浆同化源。此外，还形成层状Pb、Zn、Cu、重晶石、萤石矿床及其有关建造，属渗滤源。

A.Д.谢格洛夫（Щеглов）指出，在构造岩浆活化区，深成溶液与渗滤溶液都参加了矿床的形成，它们通过不同形式迁移至富集地点。主要金属组分（Nb、TR、Th、Cu、Ni等）来自深部；脉石矿物组分（Ca、Si、K、Mg、Na等），有时也有某些成矿元素（Fe、Sn、U、Pb-Zn等）来自围岩，所以矿质来源是多源的。

总之，在地槽阶段早期和地台阶段活化期的玄武岩类岩浆活动带中，依靠壳下初生源形成了许多很特征的内生矿床。在地槽阶段中、晚期以及地台阶段活化期的花岗岩浆活动带中，依靠地壳岩浆同化源也形成了许多另具特征的内生矿床。玄武岩类有关矿床产生于地壳受拉张作用的环境下；而花岗岩类有关矿床则产生于受挤压的环境下。至于渗滤来源，在地槽阶段早、中期表现不明显，但在以后各阶段，其所起的作用越来越大。

2. *大洋底部*

在大洋中一般划分为三个主要构造单元：

(1) 大洋中脊；

(2) 大洋板块；

(3) 横向转换断层。

在这些构造单元中，不存在可靠的早于侏罗纪（1.5亿年）的大洋岩石。所发现的较老的岩浆岩乃是大陆的局部沉没地段。因此，在大洋中不象在大陆那样，能对岩浆活动和成矿作用从老到新的演变情况进行考察。而可以说明的只是那里存在唯一的、年轻的阿尔卑斯期岩浆作用以及可能与之有关的矿化。

根据格拉玛·查林杰号钻探船大约400多个钻孔、80000m进尺、40000m岩芯的资料，表明大洋底部与大洋内部岛屿一样，发育的岩浆岩只是一些年轻的玄武岩浆的产物，从暗色橄榄拉斑玄武岩到不含橄榄石的浅色碱性玄武岩。在深成岩中以斜方辉橄岩为主，有时有纯橄榄岩、辉长岩和粗玄岩共生。因此在洋底不可能有亲花岗岩类的金属矿床存在。到目前为止，在大洋和岛屿上的玄武岩类岩石中，尚未发现内生工业矿床。只发现了黄铁矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿、方铅矿、钛铁矿、磁铁矿、多水硼锡铁矿和锡石的一些局部浸染矿化。这些矿物中硫同位素的组成，符合陨石硫标准，证明它们来源于上地幔。有趣的是大量洋底矿石结核包含的一些主要元素，如铁、锰、铜、镍、钴等，所形成的元素组合，也正是玄武岩类岩浆的典型元素组合。

3. *过渡带*

由大洋到大陆的过渡带，从探讨成矿物质来源的角度来看是很有意义的。决定过渡带地质构造、岩浆活动和成矿作用特点的最重要的区域性单元是毕鸟夫带。众所周知，毕鸟夫带有前缘深海沟、火山岛弧、在岛弧后面分布着边缘海（褶皱带）。前缘构造发育于洋壳上，而后边的构造，则发育于陆壳上。前缘构造上出现与优地槽发展早期阶段相当的玄武岩类岩浆活动与成矿作用，而后边构造上出现与地槽造山期有关的冒地槽型花岗岩类岩浆活动和成矿作用。总之在过渡带的靠大洋一侧，形成岩浆型Cr、Pt、Cu-Ni、Ti、Fe和黄铁矿型矿床，它们属于亲玄武岩类的矿床，矿质来自上地幔初生源。过渡带靠大陆一侧，发育许多有色、稀有金属矿床，如W、Sn、Li、Be、Pb、Zn矿床等，它们属于亲花岗岩类的矿床，其

矿质来自地壳同化源。

上述过渡带的成矿现象，是个新课题。有人用板块俯冲观点进行解释，有人又发表了不同的看法，这些都有待今后深入开展研究。

六、研究矿质来源的意义、存在的问题和动向

1．研究矿质来源的意义

研究矿质来源的重要意义在于：

（1）有利于深入掌握矿床成因机制问题，深刻反映自然界中矿床形成的复杂性和规律性，以便为建立新的、比较符合客观实际的成矿理论奠定基础。因为近年来人们发现矿床成因类型的区分，只反映了成矿作用和成矿环境的差异，而矿质来源和成矿元素地化特性则能反映更深一层的成生联系，应值得重视。

（2）有利于从实际出发，深入总结矿床形成与分布的规律，以便为预测找矿指明方向，从战略上选准远景区。譬如矿质来源不同，预测找矿中要注意的问题、工作侧重点和主攻方向也不同。对矿质来自上地幔的矿床，要注意地壳薄、老基底长期出露的地方，有深切上地幔的深大断裂带或不同构造单元的交接带。因为这些地带正是上地幔物质易于进入地壳浅处的地方。对地壳深部源的矿床，则首先要注意区域地质和地球化学背景，要注意有关的岩浆作用、构造作用和变质作用特征。对花岗岩类要力求查明其不同的成因类型。对地壳渗滤源的矿床，要注意构造作用、沉积作用及后期改造作用，同时对可能存在的矿源层问题也不可忽视。

（3）以“多源成矿论”作指导，有利于解放思想，开阔思路。一个地区矿质多来源，成矿机会必然也多。过去岩浆热液一元成矿论既不符合复杂的成矿实际，也束缚人们的思想。多来源的观点，使预测找矿眼界开阔，成效更大。我国东川式铜矿的找矿历程，便是其例。50年代按岩浆热液观点围绕火成岩体找矿，无重大进展；60年代考虑断裂控矿，有一定进展；后来继之用层控观点作指导，既考虑沉积因素（层位、岩性、岩相、古地理），又考虑后期改造因素（构造变动、蚀变），局面大为改观，围绕整个康滇地轴从南到北，从易门到东川、安通，600km范围，因民落雪层与构造交汇处均有矿分布，从而扩大了远景，明确了方向，找矿工作取得了重大进展。

总之，有目的地系统整理实际资料，结合区域和矿区的地质、地化背景来探索矿质来源，这样对成矿机制、成矿规律的研究就可以大大深化。这对预测找矿，选准远景区、抓准评价点等都有重要意义，从而大大提高预测找矿的成效，有利于预测评价这一复杂任务的顺利解决。所以研究矿质来源，不但具有理论意义，而且具有重大的实际意义。

2．存在的问题

目前利用同位素资料进行矿源问题的研究，尚处在类比阶段，存在的主要问题是：

（1）样品数量问题：人们利用同位素资料进行判断矿质来源，不是只用少数十几个同位素值，而是利用一批数值，测出其变化范围和平均比值进行对比，是一些统计值，而不是单值。为求出统计规律，样品不宜过少，有人指出一般应在50～100个样品以上。当变化范围窄小，比值很稳定，例如地幔源矿化，则样品数目可略少些，否则不宜少，以免影响代表性。

（2）金属硫化物硫同位素组成出现变异问题：同一矿床中的同一种矿物，在矿体的不同

部位，硫同位素组成往往出现变异。如我国富家坞矿区从矿体中心向外重硫同位素^{34}S递增（表3-2），从深部到浅部也是递增。这是由于在中低温（200～300℃）成矿条件下，热效应和含矿溶液在上升过程中多少受到围岩物质混染，而促使硫同位素分馏的结果。美国比尤特(Butte)斑岩铜矿也有类似情况（在矿体中心，黄铁矿的$\delta^{34}S‰$为0.7，往外为1.3，再外为3.6）。在同一矿体中，不同硫化物矿物，其硫同位素比值也有差异（表3-3）。关于$\delta^{34}S‰$的大小变化，大体顺序是：磁黄铁矿>黄铁矿>闪锌矿>黄铜矿>方铅矿。据推测与矿物晶格能大小有关。由此可见，硫同位素组成存在着差异，但差别不大，一般仍在同一数量级范围内，基本上不影响对比的精度。这一问题目前研究尚不够，若能配以其它手段，深入研究成矿温度梯度变化、矿物共生关系或将主次矿化阶段的硫化物硫同位素分别测试，也许能找到解决问题的途径。

表3-2　富家坞矿区不同部位不同产状硫同位素组成

（据德兴铜矿与桂林冶金地质研究所，1975）

测定对象	部　位	产　状	分析数目	硫同位素组成变化范围	
				$\delta^{34}S‰$	$^{32}S/^{34}S$
黄铁矿	矿体内	细脉浸染状	13	3.2～10	22.150～22.197
		小脉状	6	3.3～0.8	22.148～22.203
	矿体外	细脉浸染状	8	5.2～3.2	22.105～22.150
		小脉状	4	4.8～3.1	22.115～22.152
		大脉状	5	4.6～4.0	22.119～22.132
黄铜矿	矿体内	细脉浸染状	6	2.8～0.2	22.158～22.215
		小脉状	2	2.1～1.8	22.172～22.179
	矿体外	小脉状	1	4.2	22.126

表3-3　同一矿体不同硫化物矿物的硫同位素组成

矿区 \ 矿物	$\delta^{34}S‰$			
	磁黄铁矿	黄铁矿	黄铜矿	方铅矿
中国大厂锡矿	－3.8	－4.0		
美国犹他斑岩铜矿		－3.0	－1.10	－3.10
苏联哲兹卡斯甘铜矿		＋9.0	－12.0	－13.0

(3) 代表性问题：在整个热液成矿过程中，硫酸盐都起作用，但它是通过硫化氢还是通过还原作用与金属反应组成硫化物，还不十分清楚。即使处于相同条件下，矿床中的硫化物矿物与硫酸盐矿物的硫同位素值也会有系统差别，而且硫同位素所提供的矿质来源信息，对与之结合的金属元素来说只是间接的。O、C、H同位素也有类似情况。这是成矿理论研究的另一范畴的问题，尚待解决。因此当我们应用同位素资料时，不要单一化，结合地质条件和其它手段的测试结果进行全面分析，是十分必要的。

(4) 对比标准改动问题：我国自1978年2月1日始启用"CD"标准。在此之前曾用过两种不同的标准：

① 我国1974年以前测定的数据是以我国三个陨石（Tr-2广西南丹、Tr-3内蒙古、Tr-5

新疆）平均数据为标准计算的，这批数据偏大、因此使用1974年以前发表的$\delta^{34}S‰$数据时，要减去2.16‰，以和"CD"划一标准。

② 我国1975年1月开始以TR-1陨石（美国达尔诺顿县Dal Norton County）样品作为标准计算，此值略偏小，因此使用1975—1978年1月发表的$\delta^{34}S‰$数据时，要加上0.52‰，以和"CD"划一标准。相应的$^{32}S/^{34}S$比值也应重新换算。

（5）重视研究总硫同位素、介质温度、氧逸度、酸碱度等物理化学因素问题：这个问题以往重视不够。每一个硫矿物的硫同位素特征取决于成矿溶液的总硫同位素特征及其所处介质的温度、氧逸度、酸碱度等物理化学因素。如果说在低氧还原介质中矿石的硫同位素特征还比较接近成矿溶液的硫同位素特点的话，那么在矿床成矿介质氧逸度较高的情况下，矿石中硫化物矿物的硫同位素特征与成矿溶液的总硫同位素特征差距就很大了，这样，根据硫化物的硫同位素特征探讨硫的来源时，必须首先研究形成矿床的温度、氧逸度、酸碱度等物理化学环境，才能得出正确的结论。

3．值得注意的动向

矿质来源问题是成矿研究中基本问题之一。当前值得注意的研究动向是：

（1）几种手段综合运用：研究矿质来源问题时，稳定同位素的重要作用已如前所述。但任何方法和手段都不是万能的，各有长处和短处。近年来国外应用锶、铅、氢等同位素日趋广泛，而对硫同位素已不再强调。在实际工作中根据多种元素同位素资料进行对比是可取的。例如对某些斑岩铜矿中脉状碳酸盐，仅根据C同位素是难以确定其成因和来源的，因为该碳酸盐（方解石）的$\delta^{14}C$值为$-2.6\sim-5.9‰$，比碳酸盐岩体中的火成方解石（$-5\sim-8‰$）要重些，但如考虑到$\delta^{34}S$值接近于0‰，$^{87}Sr/^{86}Sr$比值小（0.706～0.708）以及D值为$-74\pm10‰$，这些均显示出岩浆成因的标志，由此得出该脉是岩浆-热液的产物的看法就比较可信。这样，各种资料和数据互相补充互相验证，从而提高判别能力，提高判别的可靠性。由此可见，几种手段综合运用的方向值得重视。手段不一定很多，贵在解决问题，所以要有目的地认真选择。

（2）新方法、新技术与地质研究密切结合：研究矿质来源问题时，将同位素、包裹体测试和微量元素比值等资料和数据同地质研究密切结合、综合分析，是个十分重要的方向，它对正确判断矿质来源，克服一些数据的不确定性有重要意义。

近几年来，我国在富铁矿的普查勘探实践中，对南方几省广泛分布于泥盆纪地层中的菱铁矿矿床成因机制的认识，从中低温热液成因、海相沉积成因到沉积改造成因，有个逐步加深认识的过程，这中间同位素研究（硫同位素比值偏离大，变化范围宽广）、气液包裹体研究与成矿地质研究（矿体受层位、岩性严格控制；多数为整合矿层，少数为穿层脉体；矿石成分简单、沿构造富化等）密切结合，起了重要作用。

又如美国密西西比矿床成因问题，过去认为是超低温热液成因，后来认为是侧分泌成因，前些年A.V.海尔等认为是地壳来源被加热的油田卤水成因。其有力证据除$\delta^{34}S‰$为$+35\sim-10‰$，变化范围宽广，偏离值大，与石油的$\delta^{34}S$值（为$+31\sim-8‰$）很接近外（图3-5），还有地质上的证据（共生矿物系列，铅、锌、萤石与石油共同赋存于盆地内）和包裹体中化学及同位素组成的证据（萤石中普遍存在液态石油包裹体，盐度重量超过20%，重氢含量较高，成矿溶液的温度70～160℃）。更有意思的是萤石包裹体的资料与该处伊利诺斯盐盆地卤水的资料一致，与该盆地中一个石油钻井波特A-1号的资料也一致（液态包裹体几乎为氯化钠卤水所饱和、温度75～160℃、化学和同位素组成也相近似）。有这些综合

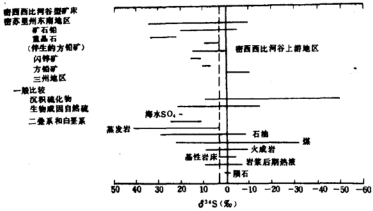


图3-5 密西西比河流域$\delta^{34}S$变化范围与比较

（A.V.海尔等据詹森等人1967年资料修改）

研究成果，加上铅、锶等同位素资料，所以海尔等人提出了上述新的成因假说。

由上可见，各种新方法、新技术与地质研究紧密结合起来，对正确判断矿质来源和深入研究成矿规律有十分重要的意义。

第二节　矿床时间分布规律

矿床在时间上的分布很不均匀。凡产生特定矿产组合的一段地质时期，称为成矿时代(期)。它的划分，总是与地质(构造岩浆)旋回相当。矿床在地史上的时间分布有无规律可循这一问题，曾存在不同的看法。一种认为“在各地质时代均可成矿，均可形成任何数量的任何矿种”；另一种看法认为“只有在某一地质时代或在地槽正常发展的某一阶段，由于构造-岩浆活动、构造-沉积作用，才能形成某种内生或外生矿床，或某种成因类型的矿床”。

根据已知的事实，冯景兰教授生前指出，在不同的地质时期、在不同的地区，只要成矿控制条件适宜，都有形成矿床的可能性。同时必须承认，在某一地质时代的某一地区，或某一地区的某一时代对于某些矿种或矿床来说，可能表现出特殊的重要性和集中性。例如世界70%（总采掘量）的金矿、62%的镍和钴矿、60%以上的铁矿形成于前寒武纪（据M.H.依万金申）；80%的钨矿形成于中生代；85%以上的钼矿形成于中、新生代；50%的锡矿形成于中生代末；40%以上的铜矿形成于新生代等。又如石炭-二叠纪为世界最主要的成煤时期；新生代是最主要的成油时期，二叠纪为世界最主要的成盐时期。以上所述，都是公认的特定矿种的重要成矿期。

一、我国主要的成矿期

成矿时代是研究矿床在时间上的发展、演化和分布规律性。一定类型的矿床与一定的地质时代、与一定的大地构造发展阶段有关。根据我国地壳发育的主要构造运动及成矿特征，将我国的成矿时代划分如下：

1. *前寒武纪成矿期*

前寒武纪成矿期持续时间最长，也较重要，可再分为如下三期：

(1) 早太古代成矿期（泰山期）（3800～2500Ma）：这时地壳开始形成，薄而不稳固，故有大量来自上地幔的超基性、基性岩浆活动，形成重要的绿岩带及有关矿床。本期末发生阜平运动，有广泛的火山和火山沉积作用、花岗岩化和混合岩化作用，并伴随着一系列矿床的形成，重要者有Fe、Au、Cu、P、滑石、菱镁矿、石墨、云母等。

(2) 晚太古～早元古代成矿期（中条或吕梁期）（2500～1800Ma）：本期地壳已经形成并相对稳定下来，火山作用、花岗岩化、混合岩化仍较普遍和强烈。火山和火山沉积建造，各种碎屑沉积建造及化学沉积建造大量出现，生物沉积建造开始出现。在这种地质环境中形成的矿产有Cr、Ni、Pt、Fe-钛、金刚石、铜铅锌硫化物、稀土、硼、滑石、菱镁矿、云母等。

(3) 中-晚元古代成矿(期1800～600Ma)：本期属晋宁、澄江、扬子构造旋回成矿期。这时稳定区与活动带区别明显，大气中CO_2占优势，海水中CO_2逐渐减少而变成硫酸盐型，主要矿产有Fe、Cu、P、石棉、石墨等，在北方产于长城、蓟县、青白口系地层中，在南方则产于板溪群、会理群、昆阳群、神农架群、南沱砂岩层及相应地层中。

2. 后寒武纪成矿期

包括加里东、海西、印支、燕山、喜山五个成矿期，分述于后：

(1) 加里东成矿期：此时我国地壳进入了一个新的发展阶段，华北、西南进入相对稳定的地台时期，矿产以产在浅海地带和古陆边缘海进层序底部的Fe、Mn、P、U等外生矿床为主，如鄂、黔、滇等省的磷矿床等。中期海侵范围扩大，普遍出现大量钙质沉积，形成灰岩、白云岩矿床。晚期在海退环境下形成潟湖相石膏和盐类矿床。祁连山、龙门山、南岭以地槽演化为特点，矿产为内生的Cr、Ni、Fe、Cu、石棉，如镜铁山铁矿床，白银厂黄铁矿型铜矿床等。

(2) 海西成矿期：与加里东期相似。我国东部处在地台阶段，以稳定的浅海相、海陆交互相、潟湖相及陆相沉积为主，相应形成一系列重要的外生矿产，如南方泥盆纪的宁乡式铁矿、二叠纪的潟期相Mn、Fe、煤等矿床，北方石炭、二叠纪的铁、Al、煤、粘土矿等矿床。我国西部北部地区仍处在地槽发展阶段，有阿尔泰、内蒙、大兴安岭、天山、祁连、昆仑、秦岭等地槽褶皱系，以内生矿床为主，有Cr、Ni、Cu、Pb、Zn、W、Sn和稀有金属等矿产，是我国一个重要成矿期。

(3) 印支成矿期：印支运动结束了我国大部分地区的海侵状态，使之上升为陆地，出现一系列内陆盆地，形成许多重要的外生矿床，有铜、石膏、盐类、石油、油页岩等。西部地区尚有三江地槽褶皱系，松潘-甘孜地槽褶皱系、秦岭地槽褶皱系及海南岛地槽褶皱系，其中形成众多的内生矿床，如Fe、Cu、Cr、Ni、稀有金属、云母、石棉等。

(4) 燕山成矿期：燕山运动是我国最重要的内生成矿期。此时我国西部地区大都结束了地槽阶段，进入地台发展阶段。东部地台区活动性猛烈增强，构造活动、岩浆活动和火山活动相当强烈，出现多期岩浆活动和火山喷溢，造成丰富多样的内生矿床。岩浆活动以酸性、中酸性岩浆侵入和喷溢为特征，早期以广泛分布的大规模岩浆活动为代表，形成一系列W、Sn、Mo、Bi、Fe、Cu、Pb、Zn矿床，晚期以广泛分布的小规模岩浆活动为代表，形成一系列重要的Fe、Pb、Zn、Hg、Sb、Au、稀有金属、萤石、明矾石等矿床。喜马拉雅山地区及台湾仍处在地槽发展时期，有超基性、基性岩浆活动，伴随有Cr、Ni、Cu、Pb、Ag等矿床。本期外生矿床不及内生矿床重要，在小型内陆盆地中有Fe、Cu、U、煤、盐类、油页岩等矿床产出。

(5) 喜马拉雅期：此期我国除喜马拉雅山地区和台湾仍处在地槽发展阶段外，都结束了海侵成为陆地，进入地台发展期。地台区以断裂构造为主，造成许多大小不一的内陆盆地，仅有一些基性岩浆喷出和极少量的酸性岩浆侵入。本期成矿以外生的沉积和风化淋滤矿床为

主，有含铜砂岩、风化淋滤型镍矿、风化型铝土矿、各类砂矿、盐类、高岭土等。喜马拉雅山地区和台湾地槽褶皱系伴随超基性、基性岩的侵入和喷出，生成有Cr-Pt、Cu-Ni、Au、Cu、S矿床。

综合上述，可将我国各成矿期的基本成矿特征归纳如下：

(1) 在同一成矿期中，早期常以与超基性、基性岩浆活动有关Cr、Ni矿床和沉积矿床为主，晚期多以与强烈地壳变动、酸性岩浆活动、变质作用相伴生的矿床为主。

(2) 前寒武纪、加里东、海西成矿期是我国最重要的Fe、Mn成矿期，有鞍山式铁矿、宣龙式铁矿、白云鄂博式铁矿、宁乡式铁矿、攀枝花式铁矿；锰矿有湘潭式锰矿、瓦房子式锰矿等。

(3) 磷矿以前寒武纪和加里东期为重要，有海州式和昆阳式磷矿等。

(4) 铝土矿以海西期的石炭、二叠纪为最重要。

(5) W、Sn、Mo以燕山期为最重要，其次为海西期。铜遍及各成矿期，但以海西、燕山期为最重要。Pb、Zn、Hg、Sb以燕山期为主，海西期次之。Cr、Ni、V、Ti集中在海西和加里东期。稀有金属以海西和燕山期为最重要（表3-4）。

表3-4　我国各个成矿期成矿特征简表

内生和变质矿床		构造旋回		代	纪	外生矿床
地台及地台活化区	地槽区					
Co、Fe	S	晚	喜马拉雅期	新生代	Q	Fe、泥炭、盐类、油页岩
Cu、Pb、Zn、Au、Ba	Cr、Au、Cu、Fe、Ag、Pb、Zn、Hg、S	早			R	Cu、Fe、U、盐、石膏、硅藻土、煤、油页岩
W、Sn、Mo、Cu、Fe、Pb、Zn、Cr、Mn、Sb、Hg、Au、Ni、V、Ti、S、As、稀有金属、金刚石	Pt、Ni、Cr、Cu、Fe、W、Sn、Pb、Zn、Sb、稀有金属、S、Ba、滑石	晚	燕山期	中生代	K	Cu、U、石油
W、Sn、Mo、Bi、Fe、Cu、Pb、Zn、Be、Nb、Ta、Cr、Ni、Pt、Ti、Li、石棉	Fe、Cu、Pb、Zn、Li、Be、Mo、As	早			J	Fe、U、煤、石油、油页岩
Nb、Ta、Be、Fe、Cu、Cr、Ni、Pt、Pb、Zn、Au、云母、石棉	Cr、Ni、Fe、Cu、S、云母、石棉	印支期			T	Cu、Mn、盐、石膏、石油、油页岩
Nb、Ta、Be、Cs、W、Sn、Mo、Fe、Pb、Zn、Cr、Cu、Ni、V、Ti、云母、石棉	Cr、Ni、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Li、Be、金刚石	晚	海西期	古生代	P	Fe、Mn、Cu、P、煤、油页岩、粘土
Cr、Ni、Co、V、Ti、Fe、Cu、Pb、Zn、菱镁矿、云母、水晶	稀有金属	中			C	Al、Mn、U、煤
Cr、Ni、Cu、Au	Cr、石棉、蛇纹石	早			D	Fe、Mn
Au、Pb、Zn、Cu、Fe、W、Sn	Cr、石棉、蛇纹石	晚	加里东期		S	P、Fe、U
					O	P、Fe、石膏
Cr、Ni、Pt、Fe、Cu、石棉	Cu、Au、S	早			∈	Fe、P、U

内生和变质矿床		构造旋回	代	纪	外生矿床
地台及地台活化区	地槽区				
Fe、Cu、P、W、Sn、石棉、石墨		晋宁或杨子期	中-晚元古代	600—1800 Ma	Fe、Cu、P
Cr、Ni、Pt、Fe、Ti、Cu、Pb、Zn、TR、金刚石、菱镁矿、滑石、云母		中条或吕梁期	早元古至晚太古代	1800—2500 Ma	
Au、Fe、Ni、Cr、U、Cu、Ag、Zn、菱镁矿、石墨、石棉等		阜平或泰山期	早太古代	2500—3800 Ma	

总之，我国各类矿床在时间上分布很不均匀。其中Fe、Au等矿早期比较富集，Hg、Sb、As、稀有金属等矿晚期相对集中。我国地壳演化早期，成矿作用比较简单；随着时间的推移，地壳加厚，岩浆活动、火山作用、沉积变质作用的多次重演，大气中游离氧增多，生物的出现和大量繁殖，成矿作用愈来愈复杂，到中、新生代达到最高峰。

二、全球最主要的成矿期

根据构造作用、岩浆作用、沉积作用和成矿作用的一系列特征，Г.А.特瓦尔奇列利哲将全球分为七个最主要的成矿期，兹简述如下：

(1) 太古代成矿期（3500～2500Ma）：最古老的岩系，由于基性岩浆岩的花岗岩化和混合岩化而变为花岗片麻岩。太古代矿化较弱，成矿现象十分单一，除沉积变质铁矿外，还有稀有金属伟晶岩和陶瓷用伟晶岩以及含金石英脉矿床。

(2) 早元古代成矿期（2500～1800Ma）：在原始地台范围内第一次产生了厚度为35～50km的大陆壳。在原始地台之间分布有原生地槽。地槽发育以无回返无造山的封闭而结束，因此不伴有厚大的磨拉石建造。早元古代矿产丰富，矿化很强。在地槽区分布有含铁石英岩、Mn-Fe矿床、铬铁矿床、石英脉金矿、受变质的透镜状铜矿床等。在地台区分布有含金铀砾岩矿床，大型含铜砂岩矿床、铬铁矿、Pt、V及Cu-Ni矿床（布什维尔德型）等。

(3) 中元古代成矿期（1800～1650Ma）：这一成矿期延续时间较短，但产出了具有世界意义的大型矿床。在地槽带有巨大型的黄铁矿-多金属矿床（布洛肯山及芒特艾萨）、碧玉铁质岩建造铁矿床、伟晶岩矿床、铬铁矿矿床。在地台区形成了巨大的热液铀矿床（加拿大埃尔多拉多）以及金铀砾岩矿床（澳洲、巴西、芬兰）等。

(4) 早里菲成矿期（1650～900Ma）：原始地台到此时已花岗岩化，地槽带变成了褶皱固结带。此期矿化较弱，在地槽带中继续形成厚大的含铁石英岩、火山成因硫化物矿床和含铀铁矿床（瑞典、芬兰）；稀有金属（W、Sn、Nb、Ta）伟晶岩和云英岩矿床（南非、澳、印）；钛磁铁矿矿床（芬兰）；Fe-Mn矿床（印度）。在加拿大地盾上有肖德贝里型的Cu-Ni矿床，德卢思型的Cu-Ni-Ag-Co矿床。

(5) 晚里菲成矿期（900～500Ma）：此期与全球性褶皱作用一致，矿化很强，矿产丰富。地槽型有含铜黄铁矿、钛磁铁矿、铬铁矿、石英脉金矿及伟晶岩矿床等。地台型有巨大的伴生钴铀的含铜砂岩和页岩矿床，首次出现的碳酸盐岩中产出铜和铅锌建造的矿床，含铀伟晶岩、含锡钨云英岩以及金刚石等。

(6) 古生代成矿期（500～150Ma）：包括加里东—海西期。此期矿化强，类型复杂。

在地槽带典型的有黄铁矿型铜矿和多金属矿、钛磁铁矿、铬铁矿、铂钯矿、矽卡岩型磁铁矿、矽卡岩型铅锌矿、云英岩型钨锡矿、热液型汞锑矿。在地台区典型的有碳酸盐岩中的铅锌矿、含铜砂岩、五元素（Au、Ag、Co、Se、Te）矿床及煤矿床等。

（7）中、新生代成矿期（<150Ma）：包括基米里—阿尔卑斯期。矿化非常丰富多样。在地槽带典型的有黄铁矿型铜矿，黄铁矿型多金属矿、铬铁矿、矽卡岩型磁铁矿、硫化物型锡矿、石英脉型钨锡矿、斑岩型铜钼矿、脉状金-碲矿、青磐岩化金银矿、低温汞锑矿等。在地台区典型的有Cu-Ni矿、金刚石、Nb-稀土碳酸盐、含铜砂岩、五元素矿床、碳酸盐岩中的铅锌矿床以及油气矿床等（表3-5）。

表3-5 全球最主要成矿期及有关矿床

（据Г.А.特瓦尔奇列利哲，1970）

最主要的成矿期	主要的褶皱作用的地台形成期	出现金属矿化作用的强度	最主要的矿石建造	
			地槽型	地台型
中-新生代成矿期（<150Ma）	阿尔卑斯期（50Ma）	中等	含铜黄铁矿，黄铁矿-多金属，铬铁矿，矽卡岩-磁铁矿，硫化物锡石，石英-锡石-黑钨矿，Cu-Mo，脉状金-碲，青磐岩Au-Ag，Hg-Sb	碳酸盐岩中的铅、锌，含铜砂岩，五元素（Au、Ag、Co、Se、Te）碳酸岩，金伯利岩，Cu-Ni
古生代成矿期（500—150Ma）	海西期（200Ma）	强	含铜黄铁矿，黄铁矿-多金属，铬铁矿，钛-磁铁矿，铂，矽卡岩-磁铁矿，云英岩，Sn-W，矽卡岩的Pb-Zn，锑-汞	碳酸盐岩中的Pb-Zn，含铜砂岩，五元素
晚里菲成矿期（900—500Ma）	贝加尔期（700—500Ma）	很强	含铜黄铁矿，磁铁矿-钛铁矿，铬铁矿，脉状石英金矿，伟晶岩	碳酸盐岩中的Pb-Zn，含铜砂岩和页岩（常伴生钴和铀），伴生铀的伟晶岩，云英岩的Sn-W，金伯利岩
早里菲成矿期（1650—900Ma）	哥达期（1000—900Ma）	弱	碧玉铁质岩，伴生铀的铁-硫化物，脉状石英-稀有金属（W、Sn、Au、Ta-Nb），伟晶岩，Fe-Mn，Fe-Ti	Cu-Ni，Cu-Ni-Ag-Co（肖德贝里-德卢思型）
中元古代成矿期（1800—1650Ma）	赫德森期（1700—1650Ma）	中等	黄铁矿-多金属，碧玉铁质岩、伟晶岩，铬铁矿	金铀砾岩，热液铀矿
早元古代成矿期（2500—1800Ma）	白海期（2000—1800Ma）	很强	碧玉铁质岩，铬铁矿，Fe-Mn，脉状石英-金矿，Cu（变质岩中的透镜体）	含Au和含U砾岩，含Cu砂岩，伴生Pt、V、Sn、Au的铬铁矿-Cu-Ni（布什维尔德型）
太古代成矿期（3500—2500Ma）	南罗得西亚期（2700—2500Ma）	弱	磁铁矿-紫苏辉石，磁铁矿-角闪石，伴生Ta-Nb的伟晶岩，脉状石英-金矿	

地壳成矿演化是个重要而复杂的课题，研究工作刚刚开始。由上简介可见，成矿演化总的趋势是由量变到质变，由简单到复杂，由单一到多样。金属矿化强度，由弱到强，强弱交

替。前四个成矿期以海底火山岩类分布广为特征，沉积岩则以硬砂岩、砾岩及板岩为主，没有或很少有砂页岩及石灰岩。成矿最具代表性的是含铁石英岩、石英脉金矿，此外伟晶岩以及金铀砾岩也很典型。后三个成矿期黄铁矿型铜矿和多金属矿、碳酸盐岩中铅锌矿、五元素矿床很特征，W、Sn、Hg、Sb也很典型。

前寒武纪几个成矿期内所形成的矿床，经受了后来的变质作用。其变质作用的强度决定于矿床的大地构造位置。地槽型矿床所经受的变质作用最强，从地槽向地台过渡的时期内产生的矿床，变质作用次之，地台型矿床又次之。

早成矿期内不但矿床种类有限，而且前寒武纪还缺少岩浆热液矿床。有人认为欧洲的前海西期所有旋回发育都不完全，在这些旋回中，地槽环境的终止比矿化出现要早，所以缺少岩浆热液矿床。有人用变质作用来解释，认为由于变质作用，这些矿床在新的热动力条件下不稳定而被破坏掉。上述两种推测不能完全令人满意，有待今后进一步研究和检验。

三、地壳成矿演化的多旋回性和继承性

1.成矿的多旋回性

在地壳演化过程中，地槽和地台是多旋回、螺旋式、对立统一地向前发展的。地台比较稳定，一般缺乏造山运动（但中国几个地台，造山运动均十分重要），其多旋回发展主要表现为隆起和拗陷的发生和发展上；地槽比较活动，具有多旋回造山运动，多旋回发展表现十分突出，特别是在优地槽中，与多旋回造山运动紧密伴随的还有多旋回的沉积作用、多旋回的岩浆活动、多旋回的变质作用以及多旋回的成矿作用。我国天山、祁连、秦岭和唐古拉等地槽褶皱带多旋回发展很是典型，国外一些著名的地槽系，如阿帕拉契、科迪勒拉、乌拉尔、高加索、塔斯满等，也都有同样的特点。

槽台发展的多旋回性，我国黄汲清教授最早提出，现已为国内外地质界广泛接受。关于成矿多旋回，指的是在地壳发展过程中，相同的矿床类型或类似的矿产组合，在前后构造旋回中周期性重复出现。但这不是简单的重复，而是有方向性的螺旋式发展。这一多旋回规律在成矿预测中有十分重要的意义。

由于构造运动发展的多旋回，伴随成矿演化的多旋回。其成矿旋回与构造旋回广泛一致。这种与大地构造旋回有内在联系的成矿发展称为成矿旋回。例如高加索地槽褶皱带，在加里东、海西、基米里和阿尔卑斯四个构造旋回内都属地槽环境，相应地伴随一系列内生金属矿床（黄铁矿型矿床、岩浆型铬、钛-磁铁矿床、花岗岩类有关的岩浆期后矿床以及小侵入体有关的热液矿床），在上述四个构造旋回中多次重复（图1-1）。从时空结合来看，随着地槽自北往南逐渐退缩，自早期到晚期的岩浆活动和成矿作用也沿同一方向顺序发展，空间上表现出有规律的向南移动现象（带状分布）。

外生沉积矿床的成矿演化，也与地壳演化规律有关。沉积矿床在时间上的分布，往往集中在某一个或某几个时代（时控），各类矿床都有自己特定的成矿期。这种时间分布规律，有时具有全球的一致性，有时只有局部意义。前已述及，叶连俊教授强调指出我国地史发展过程中，存在四个沉积成矿周期。每个成矿周期内，一般出现类似的矿产组合和成矿序列，自老至新大致以Fe→Mn→P→Al→煤→Cu→盐类这一顺序出现。此外，每个成矿周期还有一些自己的发育特点，有的成矿期内成矿序列完整出现，但更多的是不完整出现。这与地壳运动、海水进退、海陆变迁、矿质来源、气候变化等因素有关，预测找矿时不可不加以重视。

2. 成矿的继承性

成矿的继承性指的是区域内同一成矿元素或一组成矿元素，在不同时代以相同或不同形式再次出现，相继成矿。表现为在所经历的各种地质作用下，以相同或不同的矿床类型辗转成矿、自然形成一个系统。在某一特定的地球化学区，某些标型矿产继承发展的规律性既广泛又普遍，在预测找矿中具有十分重要的意义。

我国川南滇北铁铜成矿继承性非常典型。西昌-新平一带是铁铜矿化集中区，也是铁铜的地球化学区（场），从老至新铁铜成矿继承性表现很明显。从老基底早元古代大红山群与细碧角斑岩建造有关的大红山铁铜矿（磁铁矿、黄铜矿为主）和拉拉厂式铜矿；继之为满银沟式、鲁奎山式铁矿和东川式铜矿；再为受南北向深断裂控制的与基性超基性岩有关的岩浆型钛钒磁铁矿和铜镍硫化物矿床（攀枝花、力马河）；再晚则为在盖层中形成的沉积铁矿、在陆相盆地中形成的含铜砂页岩型铜矿。总之这一不大的区域范围内，铁铜以不同矿床类型反复再现，相继成矿，自成系统，集中了许多重要工业矿床，形成了规模巨大的铁铜成矿带，构成了我国重要的矿产基地之一。此外，长江中下游的铁铜成矿；粤桂钨锡石英脉与砂矿；湘桂脉型、交代型辉锑矿与第三纪红土中的结核状红锑矿（锑赭石、黄锑矿）等等也都是继承性成矿的例子。

在苏联，继承性成矿表现得也很清楚。例如高加索的标型金属矿床是铜、钼和多金属矿床。这里的铜矿床有加里东期的（乌鲁普）、海西期的（克兹尔科尔）、中生代的（占格祖尔）和阿尔卑斯期的（阿加拉克）。Mo矿床有加里东期的（布雷比）、海西期的（别利雅吉顿）、基米里期的（提尔内阿乌兹）和阿尔卑斯期的（帕拉加契依）。铅锌矿床有海西期的（提兹尔）和中新生代的（萨顿等）。

在外贝加尔—滨海成矿区，标型矿床是锡矿床。在这个成矿区内，锡矿床有前古生代的（或早古生代的），海西期的，中生代的（东部外贝加尔）和阿尔卑斯期的（锡霍特-阿林），后二者分布甚广。在远东北部，Au和Sn矿床是标型矿床，该区大型金矿床与晚侏罗世小侵入体有关。以后，尽管没有形成大型的Au矿床，但在晚侏罗世科雷姆组的浅色花岗岩、白垩纪鄂霍茨克组的花岗岩类和奥姆苏克昌组的新的阿尔卑斯花岗岩类有关的矿床中也有Au矿。至于Sn矿，在这个区内可以明显地分出两个成矿期：晚侏罗世是云英岩-锡石成矿期，晚白垩—第三纪是硅酸盐-锡石建造为主的成矿期。

在乌拉尔，标型矿床是铁矿。乌拉尔各期成矿作用的产物都有铁。这里有巨大的前古生代的岩浆型钛磁铁矿-磁铁矿矿床（库萨）。后来，在晚志留世—早泥盆世斜长花岗岩和正长岩侵入体中形成矽卡岩磁铁矿矿床（维索卡雅、布拉戈达特等）。海西旋回早期是基性岩中的钛磁铁矿（科契干纳尔）。再后，即在海西旋回的末期，在乌拉尔东坡形成了与花岗闪长岩侵入体有关的矽卡岩磁铁矿矿床（马格尼特纳雅）。值得指出的是：乌拉尔铁的内生矿床丰富的情况与铁的沉积矿床的丰富情况，可相对应，铁的沉积矿床在综合地层剖面的各个层位都有（下起自最古老的前古生代岩系，上至晚第三纪的沉积），这里继承性成矿表现得十分明显。

造成继承性成矿的原因很多：有经沉积作用造成的继承性，例如法国塞文山脉三叠纪盖层中的铅锌矿是继承了海西期基底中的铅锌。有由火山、次火山作用造成的继承性。例如西班牙卡塔杰纳三个时代（泥盆纪、早中新世、上新世）与火山次火山作用有关的脉状或似层状铅锌矿，是从其下较老的暗色片岩或变质砂质灰岩中浸染状铅锌继承下来的。玻利维亚第三纪火山、次火山锡矿带，是继承泥盆系石英岩、下白垩统砂岩以及下侏罗深成岩中的Sn的

结果。有由侧分泌造成的继承性，例如加拿大耶洛奈夫金矿，法国塞文山脉Sb矿。有由花岗岩化作用、变质作用造成的继承性，例如扎伊尔东部花岗岩周围的W、Sn矿，很可能是从沉积富集中继承来的。阿根廷第三纪末的W、Sn矿，很可能是从古生代与前寒武纪富集中继承来的。美国科罗拉多第三纪斑岩中的W、Mo矿，可能是继承前寒武纪片麻岩中的W、Mo的结果。

总之，成矿继承发展的规律，取决于每个成矿期特征的成矿条件，在后一个成矿期部分地重新出现。这与区域内包括成矿作用在内的各种地质作用多次叠加、元素丰度及其历史演化有关，也同成矿物质来源丰富、稳定以及多次活化迁集有关。以金矿为例，与玄武岩类火山活动带演化有关的黄金矿化，本是太古代的特征，但到古生代早期，成矿条件部分再次出现，而导致形成的不是单纯的金矿床，却是含金黄铁矿型矿床。另一方面，在古生代晚期与安山岩-英安流纹岩火山作用有关的近地表金矿床开始少量发育，而在后一个中-新生代成矿期则大量出现、广泛分布。由此可见，成矿继承发展，前后期之间既有联系（共性）又有区别（个性），无论在地质条件上，还是在发育强度上，这种重复出现都只是部分再现，而不是全部。

由于成矿的继承性，启示我们在预测找矿时应注意矿床类型可随不同时期成矿条件的变化而变化，特别是在地质作用复杂、某种矿化较强的地区，不能死守一个类型。要注意同一矿种、多种类型继承共存的可能性。据此可顺藤摸瓜，溯本追源，由小找大，由贫找富，努力发现新的成矿层位和新的矿床类型。

四、地壳成矿演化的阶段性、方向性与长期性

1. 成矿的阶段性

成矿作用在时间上普遍存在稳定而又有规律的交替。成矿阶段性指的是矿化在时间上分段集中，即矿化时间上的不均匀性。

成矿元素随地质时代而集中分布的特点比较明显。从И.Г.马加克扬（Магакъян）所作的统计中（表3-6）可以看出，矿产在地史上分布很不均匀，大体上亲铁元素倾向于早期富集，而亲硫元素则以晚期富集为特征。

表3-6 主要金属矿产在各地质时代中所占的储量比重（%）

（据И.Г.马加克扬，1974，稍加补充）

成矿时代	主要金属									
	Au	Fe	Ni	Ti	U	Hg	Mo	Mn	Cu	Pb-Zn
前寒武纪	70	75	70	80	60	—	?	25	25	10
加里东-海西	5	5	10	20	15	?	5	—	10	30
基米里	15	15	20	/	15	5	5	5	5	30
阿尔卑斯	10	5	/	/	10	95	90	70	60	30

Д.В.龙德克维斯特（Рундквист）从元素浓度克拉克值的角度研究了成矿元素的时间分布规律。他指出某一金属元素明显富集形成矿床的时代的早晚，与该元素浓度克拉克值（Cc=工业矿石中某元素的含量/该元素克拉克值）的大小有关。前寒武纪和早古生代明显富集成矿的是浓度克拉克值最小（10～100）的元素（Fe、Ti、Ni、Co等）；晚古生代至

中生代明显富集成矿的是浓度克拉克值为100～1000的元素（Cu、Pb、Zn等）；中生代明显富集成矿的是浓度克拉克值为1000～10000的元素（Sn、W、Be等）；中生代至新生代明显富集成矿的是浓度克拉克值为10000～100000以上的元素（Sb、Hg、Ag、Bi、As等）。由上可见，浓度克拉克值较小的成矿元素（如亲铁元素）早期富集，预测与找矿时，要侧重老地层老岩系分布区；浓度克拉克值大的一些成矿元素（如亲硫元素、亲石元素）晚期富集，预测时要侧重中、新生代造山带，这从时间上为预测找矿指出了方向。

成矿元素在地史上阶段性集中的程度各不相同。B.И.斯米尔诺夫指出，苏联内生金属矿床阶段性集中的程度有6种情况：①Fe、Ti、Ni工业矿床，主要集中于元古代起至海西期；②Cr和Pt矿主要集中于海西期；③W矿自海西期延续至中生代；④Cu、Pb、Zn、Sn、Sb矿，自海西期起至阿尔卑斯期都有发现；⑤Hg矿高度集中产于阿尔卑斯期；⑥Au和Mo矿属"贯通式"矿床，自元古代至阿尔卑斯期都有工业矿床形成，成矿的时间范围最大。

各种成因类型金属矿床在地史上的发育强度差别颇大，据此可以指出预测找矿方向。在苏联岩浆矿床是在海西期以前（包括海西期）形成的，以后则没有形成。伟晶岩矿床是最先形成的，但海西期以前多为高岭土、云母矿床，有时为黄玉和石英矿床，只是从海西期起才见有稀有金属矿床。云英岩矿床自海西期即开始发育。热液矿床在太古代没能形成，元古代和加里东期也极少，在海西期大量形成，直到中生代和阿尔卑斯期仍占主要地位。最稳定的是矽卡岩型矿床，从元古代起各期都有发现。从上所述，可见海西成矿期在苏联占有特殊的地位，各种类型的金属矿床均有广泛发育，它是苏联内生成矿作用史上的转折点，也是预测找矿工作的重点。这一归纳，对我国西北地区有一定参考意义。

按槽台学说观点，成矿阶段性取决于槽台发育过程中构造环境、岩浆活动、沉积作用普遍存在有规律的更替。地槽发展为褶皱带，概括地可以分为三个大阶段：

(1) 早阶段以张应力断层构造和壳下玄武岩类岩浆活动为主，活动带下坳，水下火山岩建造普遍发育，形成一组与玄武岩类有关的矿床。

(2) 中阶段在时间上紧接前阶段，以压应力占优势，与主要褶皱期相当，有逆掩断层发育，花岗岩类岩浆活动强烈，形成一组与其有关的矿床。在此阶段水下火山岩建造为火山深成建造和深成（岩基）建造所代替。

(3) 晚阶段以扭张断层构造为特征，断层出现多种方向（纵向、横向、斜向）遍布褶皱区，甚至伸入地台边部。发育有成分复杂的小型侵入体，深成建造逐渐被火山-深成建造及火山"陆相"建造所取代，伴随大量有色、稀有、贵重、放射性金属的热液矿床。

上述三个阶段各自集中了不同的矿产。总的说来，具以下一些特点：

(1) 地槽发展三个阶段在延续时间的长短上很不平衡，早阶段延续时间最长，占整个地槽期时间的50～70%，而中阶段（同褶皱阶段）则最短，只占整个地槽期时间的5～15%。矿化的强弱不受地槽各阶段延续时间长短的影响。而且成矿作用可延续很长时间，不随地槽环境的结束而终止。

(2) 地槽发展三个阶段在发育强度上也很不平衡，在某些地槽系内，当玄武岩类岩浆作用和有关矿化的早阶段强烈发育时，则中、晚阶段不发育（如我国祁连山地槽褶皱系和苏联乌拉尔地槽褶皱系）。在另一种与此相反的情况下，早阶段的作用很微弱，而中、晚阶段的花岗岩类岩浆作用和有关成矿作用广泛发育（如我国南岭地槽系和苏联维尔霍扬地槽系）。

(3) 从时空结合上看，上述三个发展阶段的形成物在地槽褶皱带中的空间展布虽不尽相

同，但一般仍有规律可循。中阶段的花岗岩类派生物，与早阶段的玄武岩类派生物几乎总是呈接近平行的带（岩带和矿带）交替出现，并与主要构造带方向一致。而晚阶段的产物，则常沿断裂叠加在上述两个带之上或相邻的其它地槽带之上。

总之，按槽台学说观点，金属矿化的类型、强度和展布，取决于地槽褶皱带发展的全过程以及各个不同阶段的地质发育强度的差异，В.И.斯米尔诺夫据此将地槽分为互有区别的两个类型，这在预测找矿上有重大指导意义。

2. 成矿的方向性

成矿演化的方向性，即不可逆性，取决于地壳发展演化所固有的规律性。其中可指出三点：

(1) 地史上地槽面积逐渐缩小，而成矿作用的规模并不相应缩减。众所周知，自晚元古代至第三纪地槽面积不断缩减，从占陆地总面积的80%，缩减为20%。看来与此相应，地槽成矿作用的总规模想必也缩小，但实际情况并非如此，当地槽总面积缩减时，地槽成矿作用只有强弱的变化，其成矿总规模并没有缩减，相反，随着时间的推移，还有增大的趋势。前已述及，从太古代至元古代，从早里菲至晚里菲，从加里东至海西，矿化强度都是由弱到强，弱强交替。欧洲和亚洲海西期金属成矿省广泛发育，非、美、澳三洲也有部分发育；环太平洋构造带和特提斯构造带则中、新生代成矿期广泛发育。

(2) 地槽系由老到新的历史演变，开始是亲玄武岩类矿化占优势，后来变为亲花岗岩类矿化占优势。虽然没有作过定量计算，但地槽系从古老时期向晚近时期，上述演变趋势十分明显。在元古代地槽内，以玄武岩类岩浆活动为主，与此有关的有著名的铜-镍硫化物、铬铁矿、钛钒-磁铁矿岩浆型矿床，还有火山沉积变质型（黄铁矿型）矿床。显然，到加里东期和海西期时，花岗岩类岩浆活动和成矿作用逐渐增强，而玄武岩类及其有关矿产仍然很重要（如乌拉尔及祁连山）；在基米里期尤其是阿尔卑斯期，地槽玄武岩类岩浆活动及成矿作用已大为减弱，而让位于占优势的花岗岩类岩浆活动及其成矿作用（如锡霍特阿林及南岭），因此，在地壳发展演化过程中的地槽环境下，内生成矿作用有显著的“花岗岩化”。

(3) 成矿演化的方向性，还表现在随时代的推进，同一元素而成矿特点往往不同。地史上不同的时代所形成的矿床，其矿物组成、共生组合和矿石结构上都留下了重要的特征。例如，由太古代普遍发育的火山喷发沉积成矿作用所形成的碧石矿床，逐渐演变为古生代化学沉积成矿作用形成的燧石（油石）矿床，并进一步演化为中、新生代生物成矿作用形成的硅藻土矿床，最古老的硅藻土矿床产生于白垩纪，而在中生代以前的矿床尚未发现。这说明了在不同的地质时代中，虽然成矿组分主要为二氧化硅，但形成的矿产不同，工业用途也不同。

Fe矿、盐矿和其它一些矿产也有类似的情况。2000Ma前的铁矿石以条带状含铁石英岩为主，2000Ma以后，包括古生代，则以鲕状赤铁矿为主，到中生代则又演化成以菱铁矿为主了。成盐作用历史的研究表明，晚前寒武纪海盆中只产生白云石的沉积，寒武纪到石炭纪主要为氯化物型的成盐作用，从二叠纪开始才出现钾的硫酸盐富集。

谢家荣教授（1963年）研究了我国不同构造旋回的成矿特点，认为西北、内蒙、东北及秦岭的古生代地槽带，地壳一般较薄，深大断裂直达基底，因而形成较多的为早期旋回所特有的矿床。在中生代，东南地区地壳一般较厚，除少数深大断裂可直达基底外，大多数都表示出硅铝层的成矿特征。有许多位于地台边缘的凹陷带如燕辽凹陷带、浙赣凹陷带，则显示

出以硅铝层多金属矿为主、硅镁层矿化为副的中间过渡型特征。地台内与构造岩浆活化作用有关的成矿作用，由古老时期向晚近时期逐渐增强，尤其是在中、新生代最为显著。

在花岗岩多成因新的理论观点影响下，谢家荣教授指出，玄武岩体系的矿床是新生的岩浆矿床，矿质来自上地幔。与花岗岩类体系有关的各种矿床，以及沉积矿床、风化矿床、侧分泌矿床等则是广义的再生矿床，矿质来自地壳硅铝层，后期矿化在前期矿化基础上再造。尽管有些金属元素有随着时代的更新而渐趋减少（如Au、Cr、Ni、Co、Fe等）或渐趋增加（如W、Sn、Mo、Hg等）的趋势，但在每个成矿期中总有或多或少的出现，这些都可被认为是受到再生成矿作用的影响所致；而在某些时代中，由于有大量的岩浆的喷发与侵入，带来了新生的来源，某些矿质又表示急剧上升的趋势，如中、新生代年青褶皱山脉中的金碲矿床及斑岩铜矿床等表现最为明显。花岗岩类岩石的数量大致随着硅铝层的加厚而增加，因此与它有关的W、Sn、Mo矿床也有随时代的更新而加强产生的趋势，而矿化高峰则在中生代。因为这个时代不但有广泛的花岗岩的形成，而且还有大量酸性岩浆的喷出与侵入，增加了新生矿床的物质来源。

总之，成矿的方向性特点，与地壳发育类型、地壳厚度以及地台构造、岩浆活化等因素有关。地壳在不断发展演化，随着陆壳面积不断增大和厚度不断增加，相应地成矿时间演化为：前寒武成矿旋回以亲铁元素为主，加里东至燕山成矿旋回以亲铜元素为主，燕山至喜马拉雅山成矿旋回以亲石元素为主。其演化序列表现为：亲铁元素→亲铜元素→亲石元素（图3-6）。在实际工作中应用成矿演化序列指导预测找矿意义重大。

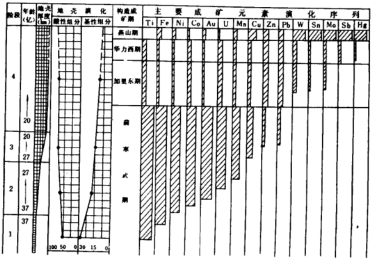


图3-6 地壳演化与主要成矿元素演化序列示意图

（据沈永和，1982）

3．成矿的长期性

关于成矿的长期性的认识已为许多地质事实所证实。与花岗岩类有关的矿床同造山运动关系密切，造山运动经历时间短促，但花岗岩及其有关矿床的形成时间，相对来说比造山运动要长得多。以华南花岗岩为例，根据华南燕山期花岗岩成岩成矿史和大量同位素地质资料，可将燕山期花岗岩类成矿过程划为四个阶段：

（1）160～185Ma：形成漂塘、浒坑、贵东、西华山、大吉山、瑶岗仙等岩体，成矿以

大量的钨矿石英脉、矽卡岩型白钨矿为主（伴生有Mo、Bi、Sn、Be、Nb、Ta及少量Cu、B、Zn），部分矽卡岩型铁矿（如广东忠信）、稀土矿化也在此阶段形成。

（2）120～135Ma：形成苏州、葛源、台山、博罗、增城、栗木等岩体，成矿主要是独立的和与钨共生的花岗岩型铌-钽矿床，伴生有钠长石化、锂化（锂云母、铁锂云母）及云英岩化。

3）90～110Ma：如大厂、德兴、个旧、海陆丰等岩体，主要形成锡石硫化物和多金属矿床（水口山、铜山岭、七宝山、黄沙坪）。

（4）70～90Ma：华南花岗岩型铀矿床在此阶段形成。

由上可见，仅华南燕山期花岗岩类成矿历史就持续1亿多年，如果将加里东期和海西印支期成矿活动也计入，那就更长了。成矿物质是在长期演化和发展过程中逐步集中起来的。成矿能力也在不断变化，我国华南多数铀矿床与中粗粒黑云母花岗岩有关，岩体年龄为$1.60 \sim 1.80 \times 10^2$Ma，但沥青铀矿年龄为70～90Ma；法国与铀矿床有关的花岗岩年龄为240～270Ma，铀矿物则是120～140Ma，其间均经历了约100Ma的长期演化过程才逐步浸出成矿的。

不同成因类型的花岗岩类演化是长期的，成矿演化也是长期的。在一个区域内，与花岗岩类有关的大量工业矿化总是同较晚期花岗岩有关。我国华南是这样，泰国、英国和美国也有同例。泰国有前寒武纪、古生代和中生代的花岗岩，但矿化与中生代晚期花岗岩有关。英国康瓦尔有加里东期花岗岩和海西期花岗岩共生，Sn、Cu、Pb、U矿化只与海西期花岗岩有关。美国西部内生矿产主要与最新（新生代）的花岗岩有关，古生代、中生代花岗岩都无矿化，前寒武纪花岗岩只有三处有工业矿床。总之，成矿与相对新的花岗岩有关。金属成矿演化和花岗岩中元素的演化一致，二氧化硅、碱金属、微量元素、特别是挥发分，演化到一定时期才能成矿。因此，研究花岗岩成因类型、花岗岩演化与成矿演化的关系，对预测和找矿有十分重要的指导意义。

总结上述，成矿作用过程是地质作用过程的一环，以历史发展的观点，运用历史分析的方法研究复杂的成矿现象，掌握其来龙去脉，意义重大。矿床在时间上分布很不均匀，许多时控成矿，其实是该时代的具体地质条件控制成矿，表面上看来是某一时代起了作用，而实际上是该时代的具体控矿条件在起作用。因此，成矿时间规律必须与具体条件、具体地点相结合，进行深入分析，成效才显著。

地壳在演化，成矿也在演化。用辩证的观点看待地壳的成矿发展，就应以渐变和突变的交替，继承和发展的统一来理解成矿时间规律。地质工作者研究矿床时间分布的重要意义可归结为：

（1）根据演化成矿观点、继承成矿观点指导预测找矿。成矿现象是地壳长期演化的综合结果。所谓成矿的时间控制，就是有利的成矿条件历史再现、部分重复。把成矿过程放回地质历史发展的长河中来考察，将成矿事实同周围地质事实联系起来思索，看其来龙去脉，前后发展演化，能启示我们由此及彼，举一反三，辩证预测。大体上在某一地区从某时代的一个矿床被识别时起，就应该把它看作有力的找矿响导，从而指引我们进一步去寻找与该矿种的类型相同的其它矿床或在另一时代（层位）中类型不同的矿床。

（2）建立成矿序列思想，指导预测找矿。在某一地区，当一个矿床被发现后，就应把它看作是某成矿序列中的一员，努力查明其成矿序列的归属以及其在该序列中的位次，从而去找该序列的其它矿床或一连串不同时代的有关矿床。这样一来，找矿由一个个单独地找，进

而转变为按序列有联系地找。当然，序列中有的矿不一定都出现，实际情况是千变万化、比较复杂的，但有这种思想武装非常重要，一可以掌握成矿的时间脉络，统观成矿的全过程；二可以增强预见性，提高发现率，所以有重要的意义。

第三节　矿床空间分布规律

矿床的空间分布，如同前述时间分布一样也很不均匀。成矿区域和成矿时代有密切的关系，一定时代的矿床必定产生在一定的空间中；一定空间中的矿床必是一个或几个成矿时代的产物。应该指出，矿产的形成是在地质演化的背景上发生的，并受许多因素的控制。因此只有在结合区域总的地质发展进行控矿因素分析，特别是关键因素和一般因素的辩证分析的基础上，才能深入掌握各阶段矿化的空间富集规律，为预测找矿提供科学依据。

一、我国的主要成矿区域

所谓成矿区域是指某一矿产或某些矿产的矿床比较集中、地质发展历史相近、成矿作用上具有一定共性的地区。在一个成矿区（域）中常以某矿种或某些矿床类型特别发育为特征，同时不可避免地贫乏或特别短缺另一些矿产或矿床类型。成矿区域的范围大小不一，往往与一定大地构造单元、一定的构造-岩浆带和一定的构造-岩相带相符合。在一定的构造-岩浆带中常产出某些内生矿床；在一定的构造-岩相带中常赋存某些外生矿床或变质矿床。

成矿区域和区域地球化学场有密切关系。地壳中矿产分布不均匀，主要反映了成矿元素在地壳和上地幔分布不均匀。每个成矿区域都有自己特定的区域地球化学特点，据此可以划分出不同级次的区域地球化学单位（带、区、省等），分别与大地构造单元（或构造体系）和各级成矿单元互有联系。

我国各大地构造学派，都按照各自的观点对我国的成矿区域有所论述。这里根据地质力学观点，按照构造体系和矿产分布的关系，介绍我国的主要成矿区域：

1．纬向构造体系控制的成矿带

（1）天山-阴山带　西起天山，东到辽宁，大致在北纬40°～43°之间。这一带有辽南巨大的含铁石英岩型矿床、白云鄂博型稀土及铁矿床、大庙钛钒磁铁矿矿床、内蒙超基性岩中的铬铁矿床以及天山西段的多金属矿床。

（2）昆仑-秦岭带　西起昆仑山，东止黄海之滨。已发现的矿床主要有矽卡岩型铁矿、铜铅锌矿、巨大的细脉浸染型钼矿、石英脉型和浸染型金矿、某些火山沉积变质铁矿等。

（3）南岭带　包括赣南、湘南、粤北和桂东北。是有色、稀有和稀土金属富集的地带，以石英脉型黑钨矿和矽卡岩型白钨矿最发育。近10余年来，又发现铁矿和重稀土矿，后者产于花岗岩风化壳中，易采易选。

2．东部地区新华夏构造体系控制的矿带

我国东部地区北北东向新华夏构造体系发育，前已提及，包括三个隆起带和三个沉降带，各有其地质构造特点和矿化特点，从东到西依次为：

（1）第一隆起带：主要指我国台湾省。南北延伸也包括日本群岛、琉球群岛和菲律宾等地，这一隆起带火山与地震活动强烈，矿床有台湾省金瓜石铜金矿、日本的黑矿、菲律宾的

斑岩铜矿、石英脉金矿等。

（2）第一沉降带：包括黄海、东海、南海所淹没的巨大的沉降带。我国广大陆棚地区包括钓鱼岛在内，石油远景很可观，可望发现大型油田。

（3）第二隆起带：包括张广才岭、老爷岭、长白山脉、辽东半岛、往南至胶东半岛、东南沿海的武夷山脉和戴云山脉等。这一带矿产丰富，尤其是新华夏系构造与纬向构造的交汇部位，常产出重要矿床，如赣南粤北的钨锡及稀有金属矿床、辽南的Fe、金刚石、滑石、菱镁矿矿床，辽南与胶东的铜、金矿床，山东和福建的各种类型的铁矿床等。

（4）第二沉降带：包括松辽、华北、江汉三大平原和渤海及北部湾。已证实有第三纪的丰富的石油，并已发现重要的盐类矿床。

（5）第三隆起带：包括大兴安岭、太行山、湘黔边境诸山脉（武陵山、梵净山等），矿产有燕山、太行山的铁铜矿、钼矿、多金属矿和石棉矿床；湘西黔东汞矿、锑矿以及钨锑金矿床等。

（6）第三沉降带：包括鄂尔多斯盆地和四川盆地等，有三叠纪、侏罗纪发育的油田和天然气，四川盆地中有丰富的盐类矿床。

由上可见，三沉降带三隆起带由西向东依序发育，逐渐变新。隆起带中岩浆活动强烈，而且愈向东愈强烈，内生金属矿床也愈来愈丰富。两个隆起带之间的沉降带，则以广泛发育油、气、盐类等重要的沉积矿床为特征。

3. 西部地区河西系控制的矿带

包括甘肃、青海大部分地区，其中有铬矿、镜铁山式铁矿、金川铜镍矿、白银厂式黄铁矿型铜矿床和青海第四纪盐湖矿床等。

4. 西南部“歹”字型构造体系控制的矿带

包括青海东南部、西藏东部、川西及云南大部分地区。主要矿产有西藏的铬铁矿、藏东滇西斑岩铜矿、滇西铅锌和铜矿床、稀有金属伟晶岩矿床、滇中、南的火山沉积变质型铁矿和滇西南钾盐矿床等。

总之，我国矿产资源比较丰富，矿产品种比较齐全，其中有色、稀有、稀土和一些非金属矿产储量居世界前列，给四化建设提供了重要的物质基础。我国矿产地质分布和地理分布都不均衡，每个成矿区具有各自不同的成矿特色，但都受地质演化的制约，都受构造的严格控制。这些特点，对预测找矿按客观规律办事有重要意义；对经济发展远景规划，贯彻扬长避短的原则，充分发挥各个地区的资源长处，迅速形成优势，再在全国范围内，互通有无，统一平衡，也有重要的意义。

二、矿床空间分布的地区性特点

矿床的空间分布既不均匀又具地区性特征。有的地区矿产特别丰富，另一些地区则比较贫乏；有的地区集中某些矿产，另一些地区集中别的矿产。所谓成矿地区性，指的是许多重要的矿床往往集中出现在不太大的范围内，形成矿化集中区，各个不同的矿化集中区，都具有一套固定的标型矿床，形成各具特色的矿床组合。在预测找矿中，正确认识矿化集中区的成矿特征，有十分重要的意义。

矿化集中区国内外实例很多。如我国南岭地区是钨、锡、稀有、稀土的矿化集中区、川南滇北是铁铜的矿化集中区、湘黔交界地区是汞锑的矿化集中区、长江中下游地区是铜铁矿

化集中区、鞍本、冀东是铁的矿化集中区、辽西冀北是钼和铅锌的矿化集中区、胶东半岛是金的矿化集中区、东秦岭是Mo和Au的矿化集中区、邯邢、莱芜是铁的矿化集中区等。国外，如美国上湖地区的铁、亚利桑那的铜、密西西比的铅锌、克莱麦克斯的钼；苏联乌拉尔土尔盖的Fe、Cu、库尔斯克的Fe、科拉半岛的磷-稀土；南非阿扎尼亚的Au、Pt、Cr、金刚石；赞比亚的Cu；加拿大科迪勒拉的铜；智利的Fe、Cu；澳大利亚北部的铁、铜；马来西亚的锡；南斯拉夫的汞；土耳其的铬；塞浦路斯的铜等。

组成矿化集中区的矿床可以是单矿种的，也可以是多矿种的；可以是同期多成因的，也可以是多期多成因的。前者如美国密苏里铁矿集中区，矿床类型包括岩浆矿床、矽卡岩矿床、热液矿床等，但成矿时期大约都在1300Ma左右（晚元古代），在$70\times100km^2$范围内，由十几个主要矿床组成，总储量达数十亿吨以上。后者的例子如苏联乌拉尔土尔盖铁矿集中区，由十几个主要矿床组成，总储量大于5×10^9t，矿床类型包括火山沉积、热液交代、直到伟晶岩型、岩浆型等。成矿时代从早石炭世到三叠纪。类似的铁矿集中区在世界上很多，如加拿大的拉布拉多，总储量超过$2\times10^{10}t$，由750个主要矿床组成。澳大利亚哈默斯利铁矿储量达$1.45\times10^{10}t$，由75个矿床组成。我国鞍本、冀东也是铁矿集中区，鞍本地区在$100\times40km^2$范围内有大小710个矿床。总储量5×10^9t以上。

由上可见，矿化集中区既体现在独特的成矿色彩上（矿产种类和矿床类型的差别），又体现在矿床数目和矿产储量的大集中上。矿化集中区的形成机制与出现规律人们还很少研究，据推测与地壳和上地幔中元素分布不均匀性有关，与地质经历复杂、保存条件良好、矿源充足有关。可能存在一定的矿源层，如果没有充足而稳定的矿源，要形成如此巨大、如此集中的矿床群是难以想象的。只有具备成矿的物质基础，加上有利的成矿条件相结合，才能演化出不同规模、各具特色的矿化集中区。

必须指出，在研究成矿地区性差异时，我们也应考虑到整体性的一面。因为地球是个完整的统一体，有些共同特征具有全球意义。大体上，壳源型矿床受地壳浅部地区性因素影响较大，地区性特征表现明显，因此不同地区之间特殊性也许占重要地位，预测找矿时认真探索本地区具特征的成矿规律，有重要的理论和实际意义。对于幔源型矿床，情况则不一样，它们受地壳浅部地区性因素影响较少，而取决于地壳深部和上地幔的共同性因素比较明显，因此不同地区之间共性是主要的，在预测找矿时，全球性的或普遍的成矿规律，具有重要的意义。

三、矿床带状分布

矿床带状分布，指的是成矿过程中矿石物质组成和结构构造在空间上（矿区、区域）有规律地交替变化。这些变化在许多区域、矿区中普遍存在，广为见及。例如与岩浆有关的内生矿床，在侵入体周围的岩系中，尤其是在碳酸盐类岩石中总见有或多或少、或全或不全的垂直带状分布及水平带状分布的矿化现象。其次环绕古陆周围，或者说环绕沉积盆地的边缘，由于物质来源、机械分异或（及）化学分异的关系，也往往表现出沉积矿床的带状（相带）分布现象。至于变质作用产生的矿床，由于变质强度、性质的差异而发生变质分带，更为人们所熟悉。以上这些主要指原生的带状分布而言，此外，对于具体矿床或矿体来说，由于次生（表生）富集作用所形成的主要是上下的次生带状分布，对于预测找矿和评价也具有非常重要的意义，因为它能提供有关矿化类型、矿石品位及矿体延深等方面的重要信息。由

此可见，矿床分带现象普遍存在，其内容及表示方法颇为复杂，但气成热液矿床的带状分布，则具有更为特殊、更为复杂和更为重要的意义，因此人们常给予特殊的注意。

根据空间分布范围的大小以及与地壳构造单元的关系，一般可将成矿单元分为全球成矿带、区域分带、矿区分带和矿体分带等。

1. 全球成矿带

构造在大区域成矿分带中起十分重要的作用。根据控矿构造类型的不同，可分出两个大型成矿带：

(1) 造山型成矿带：其特点是长度大、曲率小、并不对称，与挤压构造带密切相关。

(2) 地裂（裂谷）型成矿带：特点是长度相对而言不如前者，比较弯曲和不规则，有时为环状并且对称，由于与地裂构造有关，所以称为地裂型成矿带。地裂成矿带中，断裂切割深浅不一，因而岩浆活动、成矿作用也有差异（如郯庐裂谷，鲁南切割深，南北两端浅，所以矿产分布也不同）。

最著名的全球成矿带是环太平洋成矿带。关于环太平洋成矿带的概念约在100年前即已形成。环太平洋成矿带是指环绕太平洋周围的中、新生代构造岩浆成矿带。它自南美洲南端起，沿着南北美洲西缘经安迪斯、科迪勒拉、阿拉斯加进入苏联亚洲部分的东北地区、日本群岛、我国台湾及东南沿海、菲律宾、巴布亚-新几内亚至新西兰，延长达40000多公里。整个成矿带又分内外两个带。在美洲，内带沿滨海断裂带发育，有Cu、Au矿床；外带位于大陆部分，产Pb、Ag及玻利维亚的锡矿床等（图3-7）。在亚洲，内带沿岛弧分布，主要发育第三纪的安山岩及Cu、Au矿床，沿断裂带有基性、超基性岩及Cr、Ni、Pt矿床；外带面积较大，以中生代岩浆活动范围而定，以产锡钨为特征，并发育Pb、Zn、Bi等矿床。

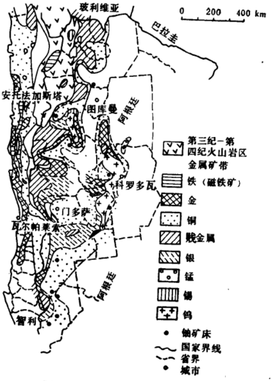


图3-7 南美安迪斯山金属矿带图

（据J.W.Gabelman等，1963）

Л.П.佐年沙英等研究了亚洲东部中、新生代的构造岩浆成矿带，认为该区成矿规律与中、新生代毕乌夫带密切有关（图3-8）。他们将西太平洋的毕乌夫带的发展分为三个时期：

(1) 中生代早期（T—J）：这个时期毕乌夫带的出露以优地槽型的岩浆岩带为标志，分布于中国的台湾、南延至加里曼丹、北达苏联远东锡霍特阿林。

(2) 中生代晚期（J_3—K_1）：相当于中国的燕山期，这个时期毕乌夫带以优地槽火山岩带为特征，此带位置向东移到品仁阿纳德尔、库页岛、日本北海道和本州一线。

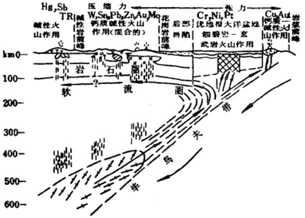


图3-8 太平洋西部毕乌夫带的构造岩浆作用与成矿分带的关系示意图

（据Л.П.佐年沙英，1977）

（3）中生代晚期、新生代早期（Mz_3—Cz_1）：以优地槽火山岩带为特征，位置更向东移，从科里亚克到堪察加，而后沿日本群岛的东缘到菲律宾。

各个时期均以基性火山岩为特征，具有典型的火山-沉积矿床、火山热液黄铁矿型铜矿、多金属矿、Fe-Mn氧化物矿床以及铬、钛磁铁矿矿床。这些矿床与控制它们的地质构造单元一致，呈明显的带状分布。同一时期内，从毕乌夫带的前缘向后部的成矿分带如下：

① 优地槽带：发育玄武岩或蛇绿岩套，伴有上述的火山热液、火山沉积以及岩浆型金属矿床（Cr、Pt、Au、Cu、Fe、Zn等）。

② 后部坳陷带：岩浆活动和矿化作用较弱。

③ 花岗岩带：广泛发育酸性-中酸性岩，与之有关的W、Sn、Au、Mo、Pb、Zn热液矿床。

④ 碱性岩带：有碱性深成岩及火山岩活动，产稀有及稀土金属矿床。

⑤ 超低温带：产Hg、Sb、As矿床。

B.И.斯米尔诺夫把毕乌夫带与地槽带联系起来，他认为毕乌夫带的优地槽部分（洋壳）发育的是地槽早阶段与玄武岩有关的矿床；冒地槽部分（陆壳）发育的是地槽中阶段与花岗岩有关的矿床；而地槽晚阶段的矿床，则沿断裂叠加在上述优地槽带及冒地槽带之上，并且延伸到地台的边缘。他指出，具毕乌夫带特征的地槽构造岩浆成矿作用是全球性成矿作用模式之一，当然也还有其它模式。

我国东部沿海及台湾岛正处在西太平洋毕乌夫带上，因此成矿条件非常有利，成矿远景十分广阔。自50年代以来，我国对太平洋成矿带的研究，特别是经过对湘、浙、闽、赣诸省的详细研究后提出了一系列新的看法，指出了以下基本特点：

（1）邻接内带部分，自中生代以来，地壳运动强烈，表现为断裂构造的广泛发育及大量的火成岩的侵入和喷出。活动强度由西至东逐渐加强。

（2）中生代的构造岩浆带明显切过了较老的构造线。突出的是我国东部大面积中生代晚期火山岩覆盖在较老的不同构造层之上。花岗岩类岩体的形态和分布特点，愈向东部受北东方向的构造控制愈为明显。表现出中生代的构造与更古老的构造方向的主要方面的不一致性，而自成独立的体系。

（3）中生代后期的构造主要表现为断裂。东部以平行于海岸的北北东方向最为发育；稍向西也部分继承了老的构造线，为近东西向。在闽浙湘赣四省的中南部，NNE、NEE两组构造线互相交叉，形成复杂的网格状断裂系统。其余还有NW向、SN向断裂，这就更使本区断裂复杂化。与此同时或稍后，大规模的火成活动（侵入或喷出）伴随形成相应的金属矿带。

(4) 外带侵入岩以淡色岩为主，与其相应的矿产有：W、Sn、Mo、Sb、Pb、Zn、Cu、Hg、Fe等。外带尚可细分出钨锡亚带和铅锌亚带等。铅锌亚带常位于交叉处跨越钨锡亚带顶端，或成为更次一级的分叉。

中生代成矿带在中国部分，其金属元素矿化强度空间分布上有所不同，W、Sn两个元素在东西方向上成互为消长的关系，西部锡矿化较强，东部钨矿化显著增强。在滇桂一带以锡矿为主，而赣南则成为钨矿化的中心。钼在整个外带都有出现，但呈由南至北增长的趋势，并在东秦岭得到最大的富集。从东秦岭东北延伸经晋南、冀北、辽南至吉林南部构成广大的钼矿带。

新生代矿带（即环太平洋成矿带的内带）的亚洲部分，由菲律宾经我国台湾、日本至堪察加，是新生代形成的以铜、金为主的矿带，大致成一个向太平洋突出的弧形。

研究表明，环太平洋成矿带的亚洲部分，其形状和结构并非简单的带状，有些地区各矿带交叉重叠，形成了十分复杂的分带。

除了著名的环太平洋成矿带外，还有古地中海-喜马拉雅成矿带。它包括地中海沿岸和亚洲西南部及南部。从西班牙、意大利起，经巴尔干半岛、小亚细亚半岛进入南高加索、伊朗、巴基斯坦，再进入我国西藏、川西及云南，延至马来半岛，并在帝汶岛与环太平洋成矿带衔接起来，延长约1.6×10^4km。古地中海-喜马拉雅成矿带广泛发育斑岩铜矿、块状黄铁矿、铬铁矿、磁铁矿、铅锌矿及钼、钨、汞、锑等矿床。在古生代古地中海张开期，在地中海中脊的翼部有塞浦路斯型黄铁矿和铬铁矿；在三叠-侏罗纪古地中海封闭的早期，沿保加利亚罗多彼山脉、土耳其安纳托利亚和高加索等地，有多金属硫化物矿床形成；在侏罗纪至始新世古地中海的主要封闭期，有喷出成因的块状硫化物矿床和重要的斑岩铜矿形成；在始新世以后，则有意大利托斯卡纳和土耳其的汞矿、锑矿和硼酸盐矿的形成。

以上两个巨型成矿带，均包括我国部分省区，因而对我国东部和西南部的成矿远景评价和预测找矿有重要的影响。

2. 区域分带

矿床的区域分带范围较大，一般以矿种或矿床类型作分带的标志。例如我国秦岭地槽带内，在坳陷较深部位形成矽卡岩型的铜、钨矿床，向地槽的一侧及端部延伸则形成中温和低温的铅锌矿床，再向外则逐渐变为低温的锑、汞矿床。又如长江中下游地区，是我国著名的铁铜矿带，它与燕山晚期中酸性到中基性深成火山岩有密切成因关系，矿床产在自奥陶纪到白垩纪的一系列沉积岩及火山岩系中及其与侵入岩（包括次火山岩）的接触带上。矿床成因类型包括矽卡岩型、斑岩型、次火山热液型（玢岩铁矿）、层控型和脉型等。由于区域中各地段地质构造发展史的差别以及不同的构造-岩浆背景，因而产出不同的矿种和不同的矿床类型，表现出矿化的空间分带性。就已有资料分析，本区矿化类型基本上可分为：

(1) 与大型闪长岩类岩体有关的矽卡岩型Fe（Co）及Fe-Cu矿床，如铁山、鄂城等；

(2) 与中酸性小侵入体有关的斑岩型或矽卡岩型加斑岩型的Cu、Cu-Mo和Cu-S矿床，如铜官山、城门山等；

(3) 与中到中基性火山-次火山岩有关的Fe-V-P-S矿床，如凹山、姑山、梅山等。

第一类矿床主要产于坳陷带内的断块隆起区，第三类矿床主要产于断陷火山盆地内，第二类矿床则产于隆起与盆地之间的过渡地带的小侵入体断续出露处，由于上述成矿地质地化背景的差异，表现出在矿种和矿床类型上的某些分带性。

由上可见，区域性矿床分带，受多种因素控制。对内生矿床来说，主要受深断裂、岩浆

活动、构造层的岩性及构造特征、围岩性质等因素控制。

3．矿区分带

在矿区内，不同类型矿床在空间上作有规律的交替，除可用矿种或矿床类型表示外，还可用有用矿物组合作为分带的标志。在单一矿种的矿床内也可用不同金属矿物的出现作为分带的标志。前已述及，许多内生矿床围绕中酸性侵入体呈一定规律的分布：一般在岩体内，特别是上部，有铌钽矿；在接触带附近有锡、钨、铋、钼、铍矽卡岩型或高温热液型矿床；离侵入体稍远分布有Cu、Pb、Zn等中温型热液矿床；再远分布有Hg、Sb和U低温热液矿床。上述是一个理想的水平分带，但实际上很少能全部一起见到，或者有的元素成矿，有的只有矿化。

英国西南部的康瓦尔矿区被认为是比较典型的矿区分带，围绕花岗岩体在水平方向上可依次划分出Sn、W、Bi、As（毒砂）、Cu、Zn、Pb、Ag和Sb各个矿带。在垂直方向上，上部为菱铁矿、菱锰矿和辉锑矿，向下变为Pb、Zn、Ag的硫化物，再下为黄铜矿，更下为黑钨矿，最下部为锡石。

在我国，矿床带状分布现象很普遍。大厂比较典型，从接触带向外依次出现Sn、W带、铅锌带、汞锑带。东坡比较全，岩体中有铌钽矿化，向外依次为W、Bi、Mo带，Cu、Sn带，Pb、Zn带（以上有工业价值），Hg、Sb、U带（无工业价值），有时相邻两带也可以位置重叠在一起。

我国华南地区，内生金属矿床水平带状分布大都围绕一个花岗岩岩株出现，而大岩基周围反而缺少水平分带。水平分带清楚的都是石灰岩（围岩）地区的矿床，岩株侵入到碎屑岩中，矿床水平分带现象就不明显了。

4．矿体分带

指矿床内沿矿体走向和倾向矿石物质成分、结构构造等有规律的交替变化。此外，还指矿体内有用元素或微量元素含量的规律变化以及含量比值（如W/Sn、Nb/Ta等）的规律变化。这对深部预测找矿有重要意义。

关于矿体分带，沉积的铁、锰矿床的矿层相带变化是最典型的，前面已有介绍，不再赘述。对于内生矿而言，矿体垂直分带，往往比较明显而重要。如湖南水口山铅锌矿床，上部矿体以方铅矿为主，中部变为以闪锌矿为主，到矿体下部铅锌均少而代之以黄铁矿。我国东北某多金属矿床，上部多铅银，下部多铜。安徽铜官山矽卡岩型铜矿床，矿体最下部为磁铁矿-铜矿石，向上逐渐变为磁黄铁矿-铜矿石，再上则以黄铁矿矿石为主，此带大部分已剥蚀，仅有局部残留。大厂锡石多金属矿垂直分带现象很是典型：最下部是接触带矽卡岩中似层状、透镜状闪锌矿、黄铜矿，往上为锡石石英脉，再上过渡为似层状硫化物锡石，更上为细脉带型锡石硫化物和方解石，最上部为大脉型锡石、硫化物、辉锑锡铅矿及方解石。以上例子说明矿石物质组成或矿石建造，随着含矿岩浆体离地表的深浅而作有规律的更替（即垂直分带）。

我国赣南粤北一带黑钨矿-石英脉型矿床，在水平方向上黑钨矿常富集在矿脉中部，硫化物则出现在脉的两端及脉壁；在垂直方向上，含挥发分的矿物及其共生金属氧化物，如绿柱石、黄玉、锡石、碳灰石等，在矿床的上部及中上部集中，黑钨矿在中部富集，Cu、Mo、Bi、Pb、Zn、Fe的硫化物，则往往富集于下部。围岩蚀变也具明显的分带，在花岗岩体内，中、上部云英岩化发育，下部矿脉尖灭和贫化部位，广泛出现钠长石化和钾长石化。由于成矿深度不同，即离隐伏岩体顶部深浅不同，含钨石英脉在脉的厚度、矿化强度、含脉

率等方面也呈有规律的变化，即"五层楼"垂直分带现象。所谓"五层楼"，即矿化从隐伏岩浆岩穹窿向上直至地表可划分为大脉、薄脉、细-薄脉、密集-稀疏细脉和散细裂隙蚀变五个带，每一带称为"一层楼"。前三带具工业价值，后二带不具工业价值，但为良好的预测找矿标志。

从上所述，可以看出矿床带状分布是客观存在的事实。至于分带的原因，有多种不同的学说。矿床分带作为一个理论问题是在1907年由史佩尔（Spurr）提出来的。他认为，大多数金属矿床是岩浆分异的最后产物，当溶液沿地表方向流动时，随着温度的降低，逐渐发生完全结晶作用，导致了矿物的有次序的沉积。此后，地热说、脉动说、沉淀说、过滤说等相继提出，大体上反映了从不同的侧面来认识、解释这一问题。

郭文魁教授（1963年）从矿石建造、矿物生成阶段、构造条件、围岩性质、变质及蚀变程度等方面，探讨了金属矿床原生分带的成因问题，他认为：

(1) 矿物沉淀序列是形成原生分带的主要控制因素。因为根据4个矿床的实际资料综合，金属元素析出的顺序为：

$$Fe\begin{Bmatrix}Sn、W\\W、Sn\end{Bmatrix},\quad Mo\begin{Bmatrix}W、Zn\\Zn、Cu\end{Bmatrix}、Pb$$

这与某些金属元素的固定系数（电离化热同水解热的差数）序列比较一致。而且每一个矿区的成矿作用都是在同一个成矿期内，由于裂隙的多次张开，矿液间歇地断续活动的结果。但每一次活动的矿液前锋所首先晶出的指示矿物，在矿物沉淀序列上比前一次矿液沉淀序列属于较晚的阶段，或在同一阶段内属于较低的序次。可见脉动成矿又是受矿物沉淀的先后序列所控制。

(2) 根据不同矿物类别大量出现的先后，可将主要矿物沉淀序列概括为硅酸盐、氧化物、硫化物及碳酸盐类等四个阶段，并以S、O在矿液中相对含量的变化加以解释。这不仅是岩浆期后矿化作用在时间上发展的矿物沉淀序列，而且在空间上，也是从岩体向外或由深到浅一般原生分带的序列。

(3) 原生分带与矿体中含氟、硼矿物的数量有密切关系。含F、B少的矿体，氧化物及硫化物矿石分带清楚，反之分带不清。

(4) 原生分带与构造裂隙的性质和大小有关。通连成矿中心延续较远的裂隙，可以形成较清晰的分带，且为顺向分带；而较小的封闭裂隙，矿化分带不明显，有时造成超复及逆向分带。

(5) 不同矿石建造的形成与围岩及蚀变有关。在矽卡岩型矿床中，矽卡岩化地段一般为氧化物及硫化物的混合矿石，至大理岩化地段则以硫化物为主，至灰岩地段一般为碳酸盐硫化物建造。在脉型矿床中，云英岩化地段氧化物矿石较多，而至硅化地段则逐渐过渡到以硫化物为主的矿石。

近年来，在矿床分带研究方面，加强了综合分析和资料充实，多数学者认为单一的分带学说，不能概括错综复杂的自然成矿分带现象。涂光炽教授指出，与花岗岩有关的Nb、Ta、W、Sn、Mo、Bi矿，用脉动学说、结晶分异来解释尚可，但远离岩体的Pb、Zn、Hg、Sb矿都源自花岗岩浆，则很勉强。现在愈来愈多的资料，说明Pb、Zn、Hg、Sb主要来自围岩。灰岩中本身含有Pb、Zn、Hg、Sb等各种金属元素，而高浓度、高盐度的溶液可以搬运这些金属。看来矿床空间分带研究，联系物质来源，已不可忽视。分析某个矿床分带规律时，要从实际出发，具体情况具体分析，有时脉动分带和地热分带都起了作用，两者不

能截然分开。在脉动分带的每一次矿液的沉淀过程中，地温递变起了很大作用，而在每一次沉淀分带过程中同样有构造的脉动活动。在不同的矿床中，可能一种分带起决定作用，而另一种则较次要。如A.Д.谢格洛夫以西外贝加尔为例，说明脉动分带主要出现在浅成侵入体有关的矿床中，而沉淀分带则在深成矿床中多见。E.A.拉德凯维奇提出了不同的见解，她认为与热液来源地相近的矿床以地热分带为主，而远离矿液发源地的矿床则往往是多次成矿，表现出以脉动分带为主。

总之，矿床的带状分布是一个复杂的问题。在不同地区、不同类型的矿床中，分带特点及其控制因素是有差异的。在分带理论研究中，除了注意控制分带的外部因素外，更要注意加强成矿物质的地球化学特征的研究。这些成矿元素之间既有共同性，又有特殊性；或在成矿过程的某一阶段有共同性，而在另一阶段又表现差异性。共同性决定了它们会出现在同一个矿化系列中，特殊性决定了它们在矿化总过程中析出时间上有先有后，空间上有远有近，这就是成矿的阶段性和分带性的统一。

以上所述，是在一次成矿作用中形成的分带性，至于由于多期次、多阶段造成的矿床分带就更复杂，影响因素更多了。矿床分带是成矿元素在空间上分布的规律性表现，是地壳历史发展的产物，是历次地质作用的综合结果。因此一定要用历史发展观点，研究矿床分带，区分出是一次分带，还是叠加分带或变质改造分带。矿床带状分布是矿床学研究中一个非常重要的理论课题，也是由此及彼预测找矿的重要依据之一。今后矿床分带问题，结合成矿机制、矿质来源、成矿溶液时空演化和不同环境中矿物沉淀条件的变化等，开展深入的研究，有十分重要的理论和实际意义。

四、矿床空间分布的等距性特点

近30年来，矿床空间展布上人们还发现存在某种等距离的分布特征，这对预测找矿有重要意义。所谓等距离分布，指矿体、矿床、矿田、矿带甚至成矿带在空间分布上以大致相等距离有规律的出现。这一等距离可表现为直线等距，也可表现为弧线等距。

成矿带的等距分布是很特征的。如北半球的6条巨型纬向构造成矿带，每相邻两条带之间大致保持相等的距离，间距约为纬度8°左右。李四光教授生前指出，我国境内有3条纬向构造成矿带，阴山-天山构造成矿带位于北纬40°—43°，以盛产Fe、Cr、Ni矿床为特征，其次V、Ti、Cu、Pb、Zn等矿床也占重要地位；秦岭-昆仑构造成矿带位于北纬32°31′～34°30′，主要矿床有Cr、Ni、Cu、Mo、Fe以及Pb、Zn等；南岭构造带位于北纬23°30′～25°30′，为多种构造体系复合的地带，主要产出W和Sn矿床，有色金属、稀有-稀土金属矿床的分布也很普遍。

在一些矿带、矿田中，矿床等距分布也表现得明显，例如赣南漂塘西华山矿带（图3-9）受NNE及EW向构造复合控制，矿带内斜列展布5个已知矿床，其间间距一般约为5—6km，唯独矿带中部大龙山与荡坪之间出现空档，距离较大，约为其它矿床间距的2倍。经这一分析，联系露头上云母、石英线密集和深部隐伏花岗岩穹窿等有利成矿条件的存在，经打2钻孔，终于找到了木梓园隐伏大脉型钨钼矿床，填补了矿带中部的空档。

浙江武义萤石矿床等距分布，也很典型。矿带处于两条NE向深断裂间，NE向次一级扭断裂极为发育，组成许多条呈NE40°延伸的矿脉带，各脉带互相平行，间距相等，约4km，矿脉带最长达28km。控制矿脉分布的为一系列雁行式、间距大致相等的次一级扭断裂组

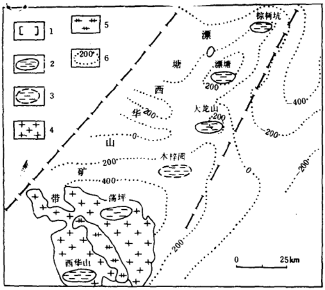


图3-9 漂塘-西华山钨矿带示意图
（据江西908队，1966）

1—矿带范围；2—已知矿床位置；3—推测矿床位置；4—燕山早期花岗岩；5—燕山早期花岗斑岩；6—隐伏花岗岩顶板等高线

成。又如豫西卢氏北部的Fe、Cu、Zn、S、Mo、Pb等矽卡岩型和热液型矿床，严格地受NE向和纬向构造带的控制，纵横展布等距出现（图3-10、3-11）。在横向上小侵入体及其相关的矿床，沿NE向断裂带分布，排列成行，组成几条非常明显的呈NE向延伸的构造-侵入岩-矿化带，各带间距约8～9km；在纵向上沿着各带自南而北，每隔6km左右出现一个小岩体及与其相关的矿床。豫北安林地区的矽卡岩型铁矿床，等距分布规律及韵律间距级别也很清楚。呈SN向延伸的两个矿带

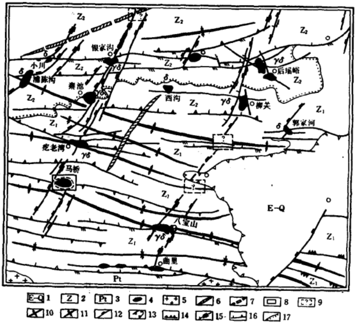


图3-10 豫西卢氏岩体分布与构造关系示意图
（据宜昌地研所一室、河南地质四队，1978）

1—第三系及第四系；2—震旦亚界；3—元古界；4—燕山期花岗斑岩及闪长岩；5—燕山期花岗岩；6—区域性航磁的正异常轴；7—区域性航磁负异常轴；8—预测区，其隐伏的成矿斑岩已被钻探证实；9—预测区；10—背斜轴；11—向斜轴；12—喜马拉雅山期压扭性断层；13—第三纪—第四纪盆地；14—EW向构造带多期压性断层；15—与EW向构造带配套的一组前燕山期的张性断层被新华夏系主干压性断层重叠，又形成喜马拉雅山期的扭性断层；16—EW构造带前燕山期的主干压性断层，被新华夏系一组配套的张性断层重叠，又形成喜马拉雅山期的压扭性断层；17—凹陷

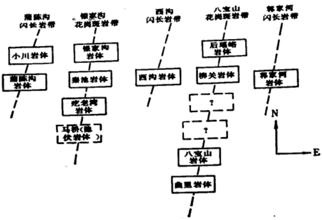


图3-11 豫西卢氏燕山期岩带、岩体等距分布示意图

平均间距为8～9km，各矿带中的若干矿田之间的距离也为3～9km，此为一级韵律间距，在各矿田内的各矿床间距为矿田间距的一半，即约[illegible]～5km，此为二级韵律间距；矿床内的矿体间距，按矿体大小，其间距分别为0.5～2.0km、0.25～1.0km、2.625～0.5km等，此为三级和三级以上韵律间距。

类似上述等距分布现象，近年我国各地仍不断有所发现。国外的例子也不少，如捷克地块普里布拉姆Ag-Pb-Zn矿床，库特纳山Pb-Zn矿床，伊赫拉瓦Pb-Zn矿床，雅希莫夫Ni-Co-U矿床以及吉罗夫金矿，其矿脉都不同程度地呈等距分布特征。此外，保加利亚马丹矿区、德国萨克森的费赖贝格矿区、苏格兰的法因湖Pb、Zn矿区、撒丁岛西南伊格莱塞亚斯多金属矿区也见类似现象。

矿床等距分布，虽不如矿床分带这么普遍，但对预测找矿仍然有指导意义。有关等距分布的原因和机制，目前研究不够。按地质力学观点，可能是由于构造形迹多级别、多序次控矿的结果。而构造形迹往往呈等距出现，这种等距性与应力的均布和岩块的均质性等因素有关。当均质的岩块在应力作用下，应力的传播具有波动性质，在出现驻波的地段，便发生断裂，这些断裂平行而等距分布，因而受其控制的岩体和矿床也相应地呈平行和等距产出。

此外，矿床空间分布的递变性、对称性特征，也有一定的预测找矿意义，值得工作中注意，这里不再一一列举。

总结上述，矿床空间分布基本特征之一是既不均匀又有或隐或显的规律变化。它们往往按一定组合关系相对集中、成群成带出现。因此预测找矿时，应把某一地区已发现的矿床看做一群矿的代表，注意研究其个体与群体的关系，以此为线索进而找有关联的其它矿床。

矿床空间分布基本特征之二是它们都与一定的构造（构造类型、构造发展阶段）有密切关系。内生矿床主要受构造-岩浆控制，外生矿床主要受构造-岩相控制，其中构造因素最为重要。因此预测找矿时，要以构造控矿（特别是线性构造）观点作指导，空间上要注意不同构造单元接合带、深大断裂带、构造交叉复合带以及其它复杂变形带，特别是隐伏构造的立体交叉、上下沟通，有十分重要的预测找矿意义。

第四节 矿床共生规律

一、概　　述

地壳中矿床往往分群产出。所谓矿床共生指的是在一个不大的地区内，由于有各种成矿条件和环境的配合，因而有一系列大大小小的矿床在空间上紧密地集中在一起，在成因上也有一定的联系。这种矿床共生现象，有时也称为矿床组合或矿床成因组合。地壳中物质（元

素、矿物、矿体和矿床）共生现象是地壳物质运动形式的普遍性特征。揭示矿床共生规律，对预测找矿循一索二，或甲乙互找有重要指导意义。利用这种共生规律，积极开展综合找矿、综合评价和矿产综合利用，既做到物尽其用、充分挖掘资源潜力，又能提高经济效益，这是我国开发矿业工作中的一项重要的技术经济政策。

矿床共生包括矿种共生和矿床类型共生。前者研究较多，后者研究较少。众所周知，当成矿条件有利时，造矿元素能富集达到工业品位，因而形成两种或两种以上矿产共生的综合矿床，如Pb-Zn-Ag矿床、W-Sn-Nb-Ta矿床等。元素的地球化学分类，体现了元素在地壳中的可能组合。但在自然界特别是矿床中所见到的元素组合往往复杂得多。因此从预测找矿角度而言，矿种共生要同一定地质条件和地质作用挂勾才有意义（表3-7）。

表3-7　主要造矿元素和矿物的共生组合

（据《矿床学》，1979）

矿石种类	共生元素	共生矿物
	1. 超基性和基性岩中的岩浆矿床	
含铂铬铁矿矿石	Cr、Fe、Mg、ΣPt	铬铁矿、橄榄石、辉石、铂、锇铱矿、
钛磁铁矿矿石	Fe、Ti、V、P	磁铁矿、钛铁矿、赤铁矿、辉石、基性长石
铜镍硫化物矿石	Ni、Cu、Fe、Co、ΣPt	镍黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、铂族矿物
	2. 酸性及碱性伟晶岩中的稀土稀有矿床	
Sn-W-Li矿石	Sn、W、Li	锡石、黑钨矿、锂辉石、长石、石英、云母
独居石矿石	ΣCe、Th	独居石、长石、白云母
铌矿石	Nb、Ta、Th、ΣCe	烧绿石、钛铁矿、铌铁金红石、榍石
	3. 花岗岩-花岗闪长岩类有关的矽卡岩矿床	
Fe-Cu矿石	Fe、Cu、Co	赤铁矿、磁铁矿、黄铜矿、闪锌矿、石榴石、辉石
Mo-W矿石	Mo、W、Fe、Sn、Cu、Zn	辉钼矿、白钨矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿
Pb-Zn矿石	Pb、Zn、Ag、Cu、Fe	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁铁矿
	4. 主要与酸性侵入体有关的热液矿床	
Cu-Mo矿石（细脉浸染型）	Cu、Mo、Pb、Zn、Ag	黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、方铅矿、闪锌矿、石英
金-多金属硫化物矿石	Au、Cu、Pb、Fe、As、Bi、Zn	绢云母、自然金、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿
W-Sb-Au金矿石	W、Sb、Au	黄铜矿、白钨矿、辉锑矿、自然金
	5. 风化矿床	
含铁红土	Fe、Co、Ni、Cr	铁的水硅酸盐、镍的硅酸盐、钴土
	6. 沉积矿床	
Fe-Pb-Zn矿石	Fe、Pb、Zn	菱铁矿、方铅矿、闪锌矿
Fe-Mn矿石	Fe、Mn	氢氧化铁、软锰矿、硬锰矿、菱锰矿、菱铁矿
	7. 变质矿床	
Fe-稀土矿石	Fe、TR	磁铁矿、赤铁矿、萤石、独居石、氟碳铈矿
Fe-U矿石	Fe、U	赤铁矿、磁铁矿、晶质铀矿、沥青铀矿等
Fe-B矿石	Fe、B	磁铁矿、硼镁石、纤维硼镁石、硼镁铁矿等

矿床共生，阐述矿床与矿床之间的相互关系和组群特征。过去偏重于单个矿床的研究，不同矿床、不同矿床类型之间的空间关系和内在联系，虽有注意但研究不够，对矿床共生规律的认识有个较长的过程。如我国一些矿区中，铅锌矿与萤石矿共生、铅锌矿与菱镁矿共生、铅锌矿与菱铁矿共生、Cu矿与Au矿共生等都是地质工作深入以后才认识的。国外也有同例，国外钾盐矿床70%是从石油深井中"偶然"发现的，如美国新墨西哥州、犹他州、苏联西伯利亚的钾盐矿床的发现，都与石油深井钻探有关。这些发现反映了油盐共生的规律性和油盐兼探的重要性。当人们没有认识这种共生规律时，难免单打一的找矿，就不可能自觉地运用这一共生规律更有效地找寻共生的综合矿种，从而推迟了某些共生矿床的发现。加拿大萨斯卡切温大钾盐矿床的迟迟发现，便是一个例子。该区1800年就曾有用盐泉熬盐的历史，到1928年又曾在该区深井钻探找石油时发现了岩盐，但是都不曾注意到有共生钾盐矿床的可能性。直到1913年后，对石油钻井进行系统放射性检查时，才发现了钾盐，并确定其工业意义。钾盐的发现比起岩盐的发现，整整推迟了一个多世纪的时间。目前，油气和地沥青与金属矿床的内在联系及其预测意义，还不十分清楚，但从加拿大有人把泥盆纪含油层作为普查铅锌矿的可靠标志、民主德国从某些天然气田中采汞这些引人注目的动态来看，问题十分重要，值得我们今后加强研究。

自然界中的矿床既有共生的一面，又有不共生（排斥）的一面。世界范围内W、Sn、Nb、Ta石英脉几乎总不与金矿共生（如赣南）。前者是亲氧元素，后者是亲铁元素，这是两类矿床时空分离的根本原因。但也有例外，低温矿床钨锑与金共生（如湘西），推测是两个区域地化场交接部位所造成。

矿床共生，基础在矿物共生和元素共生。关于造成矿床共生的原因，大体上是由于：① 元素的地球化学性质相近或相似；② 一定的物理化学平衡因素起重要作用，促使相近的元素可以同时晶出，可以类质同像置换，也可以形成固溶体；③ 矿质来源、围岩岩性以及成矿作用的综合影响；④ 叠加矿化作用，包括同生作用和后生作用的重叠矿化。后二者对区域矿床共生而言，比较重要。

近代核物理学研究工作表明，元素在一定的条件下可以转化，因而元素本身也有其发生、发展和消亡的过程。在地球演化发展过程中，在一定时间空间内可能发生的核反应，包括高能核反应，能导致某些造矿元素的共生。侯德封教授在研究核演变与成矿关系时指出，在地质体中各B族元素共生、各A族元素共生、过渡元素共生、重放射性元素共生与稀土元素共生。不仅这些共生的元素在最外两层电子壳的结构上相似，而且共生元素的主要同位素在核性质上也相似（如偶偶核与偶偶核共生、奇偶核与奇偶核共生）。同时他还进一步提出"六四规律"，说明共生元素之间的质量关系。他指出金属矿床中，某一元素的质量数常为另一元素的60%或40%。例如：Pb-Cd、In-Zn、Au-Ag-Cu、Re（W）-Mo-Mn（Fe）、Ta-Nb、Hf-Zr、Ba-Sr等，都是遵循"六四规律"的。

二、矿床共生分类

根据成矿特征（矿种组合、矿床成因类型）可将矿床共生组合分为四类：

① 单矿种同类型矿床组合：如鞍本、冀东许多沉积变质型铁矿床组合；

② 单矿种不同类型矿床组合：如湘南瑶岗仙黑钨矿床与白钨矿床共生组合，豫西细脉浸染型、矽卡岩型、石英脉型钼矿共生组合；

③ **多矿种同类型矿床组合**：如辽西矽卡岩型钼矿与铅锌矿床共生，胶东金青顶、金牛山、铜锡山一带热液型金矿床与多金属矿床、黄铁矿矿床共生；

④ 多矿种不同类型矿床组合：如长江中下游一系列火山岩浆、火山沉积、火山热液与矽卡岩型Fe、Cu矿床共生。

以上四类矿床组合，其中第一类各个矿床间成矿条件相似，可比性好，所以预测找矿时可直接类比，把握性相对大些。后三类，矿质来源、成矿作用和机制比较复杂，可比性差，预测找矿时，要反复多作具体分析。

众所周知，矿床总是产在一定的围岩中，矿床与岩石同是地壳长期地质演化的产物。朱上庆教授指出，阐明成岩成矿的密切关系，或一定矿床组合与一定围岩组合的稳定关系，有重要的预测找矿意义，既明确方向，又便于实践，效果显著。兹将矿床组合与岩石组合的关系列表于后（表3-8、表3-9、表3-10）。

表3-8 内 生 矿 床 类

（据朱上庆，1971，简化）

岩石矿床组合			主要围岩	围岩蚀变	主要有用矿物	综合利用矿产
与基性超基性岩有关的矿床	喷出岩	1. 玄武岩中自然铜矿床	玄武岩		自然铜、沸石、方解石等	Cu、冰州石
		2. 细碧-角斑岩中含铜黄铁矿矿床	细碧岩、角斑岩	绢云母化、绿泥石化	黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿…	Cu、Pb、Zn、Ag、Au、Se、Te、S
	浅成岩	3. 金伯利岩中金刚石矿床	斑状金伯利岩、角砾状金伯利岩	蛇纹石化、碳酸盐化	金刚石、铬铁矿等	Cr、（Pt）
	深成岩	4. 基性岩中铜镍硫化物矿床	辉长岩、橄榄辉长岩	绿泥石化	黄铜矿、镍黄铁矿、紫硫镍矿、砷铂矿	Cu、Ni、Co、Au、Ag、Se、Te
		5. 基性岩中钒钛磁铁矿矿床	辉长岩、斜长岩	钠黝帘石化	钛铁矿、含钒磁铁矿	V、Ti、Fe、P
		6. 超基性岩中铬铂矿床	纯橄榄岩、橄榄岩	蛇纹石化	铬铁矿、自然铂	Cr、Pt
与中性—中酸性—酸性岩浆有关的矿床	喷出—浅成岩	7. 凝灰岩及凝灰质砂岩中铁矿床	酸性、中酸性喷出岩	硅化、绢云母化	镜铁矿、菱铁矿	Fe、Mn
		8. 流纹岩、安山岩中铜金矿床	酸性、中酸性喷出岩	硅化、碳酸盐化	自然金、碲金矿、黄铜矿	Au、Ag、Cu、Se、Te
		9. 流纹岩、安山岩中萤石、明矾石矿床	酸性、中酸性喷出岩	硅化、叶腊石化	萤石、明矾石、叶腊石等	
		10. 各种围岩中汞、锑、砷矿床	岩浆岩、沉积岩、变质岩的裂隙带	硅化、碳酸盐化	辰砂、辉锑矿、雄黄、雌黄	Hg、Sb、As
	浅成—中深成岩	11. 各种围岩中铜、铅、锌矿床	中性—中酸性岩浆岩及沉积岩火山岩（主要是硅铝质岩石）	绢云母化、绿泥石化	黄铜矿、方铅矿、闪锌矿	Cu、Pb、Zn、Ag、Au
		12. 花岗闪长斑岩中铜、钼矿床	花岗闪长斑岩及其附近浅变质岩（主要是硅铝质岩石）	绿泥石化、绢云母化、硅化	黄铜矿、辉钼矿	Cu、Mo、Co

岩石矿床组合			主要围岩	围岩蚀变	主要有用矿物	综合利用矿产
与中性—中酸性—酸性岩浆有关的矿床	浅成—中深成岩	13. 花岗岩或变质岩中黑钨矿-锡石石英脉矿床	花岗岩或附近浅变质岩（主要是硅铝质岩石）	云英岩化	黑钨矿、锡石、辉钼矿、辉铋矿等	W、Sn、Mo、Bi、Li、Nb、Ta
	深成岩	14. 花岗伟晶岩中长石、云母矿床	花岗岩外接触带或内接触带（主要是硅铝质岩石）	云英岩化	微斜长石、白云母等	Nb、Ta、U
		15. 花岗伟晶岩中稀有金属矿床	花岗岩外接触带或内接触带（主要是硅铝质岩石）	钠长石化	铌钽铁矿、锂云母、锂辉石、绿柱石等	Nb、Ta、Li、Be
		16. 花岗岩中稀有金属矿床	花岗岩	钠长石化	铌钽铁矿、绿柱石	Nb、Ta、Be、Y、Zr

表3-9 外 生 矿 床 类

（据朱上庆，1971，简化）

岩石矿床组合			主要围岩	主要有用矿物	综合利用矿产
陆相沉积岩中有关矿床	干旱气候沉积	1. 现代盐湖矿床（Q）	沙漠、盐滩	食盐、芒硝、天然碱	K、Li、B、Br
		2. 红色岩系中盐矿床（K—N）	红色岩系中的灰色泥岩、粉砂岩	岩盐、芒硝、石膏	K、Li、B、I
		3. 含铜砂岩矿床（K—N）	紫红色岩系中的灰绿色砂岩、泥岩、粉砂岩	孔雀石、蓝铜矿、斑铜矿	Cu、V、U
	潮湿气候沉积	4. 现代砂矿床(Q)	河、湖、冰川的砂砾层	黑钨矿、锡石、自然金、金刚石等	W、Sn、Au、Zr、Ti、Nb、Ta
		5. 超基性岩风化壳中镍矿床（N—Q）	超基性岩风化壳	硅镍矿、绿高岭石	Ni、Cr、Co、Pt、Fe、Mn
		6. 玄武岩风化壳中铝矿床（N—Q）	玄武岩风化壳	三水铝石	Al、Fe、Mn
		7. 炭质页岩中煤矿床（T_3—J_1）	炭质页岩、粉砂岩	大部分为烟煤	油页岩、粘土岩、砂岩、Fe
海相、海陆交互相沉积岩中有关矿床	干旱半干旱气候沉积	8. 灰岩、白云岩系中盐类矿床（T_3）	石灰岩、泥灰岩、白云岩	岩盐、钾盐	K、B、Br、Li
		9. 红色砂页岩及白云岩中铜钴铀矿床	红色砂页岩及白云岩	黄铜矿、沥青铀矿	Cu、Co、U
		10. 白云岩中铅、锌矿床	白云岩	方铅矿、闪锌矿	Pb、Zn、白云岩
	潮湿气候沉积	11. 碳质页岩中煤矿床（P_2）	灰白色页岩、泥质灰岩	烟煤或无烟煤	煤、铁、粘土、硫
		12. 炭质页岩中铝土矿矿床（C_1）	灰白色粘土岩	一水硬铝石、高岭石	Al、Ga、粘土、煤、铁
		13. 紫色页岩中鲕状赤铁矿矿床（D_3）	紫色页岩、砂岩	赤铁矿、菱铁矿	Fe、Mn

岩石矿床组合			主要围岩	主要有用矿物	综合利用矿产
海相、海陆交互相沉积岩中有关矿床	潮湿气候沉积	14. 黑色页岩中石煤矿床（Є—S）	黑色页岩、石煤	石煤、铜镍硫化物	Cu、Ni、V、U
		15. 石灰岩、页岩中磷块岩矿床（Z—Є）	黑色页岩、燧石层	胶磷矿	P、Mn、V、U、F、TR

表3-10 变质矿床类

（据朱上庆，1971，简化）

岩石矿床组合			主要围岩	主要有用矿物	综合利用矿产
接触热变质矿床	主要与深成侵入花岗岩类有关	1. 碳质板岩中石墨矿床	碳质板岩	石墨	瓦板岩
		2. 碳质板岩中红柱石矿床	碳质板岩	红柱石	瓦板岩
		3. 大理岩矿床	大理岩、石灰岩	方解石、白云石	大理岩、白云岩
气成—热液变质矿床	主要与浅成—中深中性—中酸性侵入岩有关	4. 矽卡岩中磁铁矿矿床	透辉石、石榴石、矽卡岩	磁铁矿	Fe、Cu、Co
		5. 矽卡岩中钨、钼矿床	符山石、方柱石、矽卡岩	白钨矿、辉钼矿	W、Mo、Cu、Fe
		6. 矽卡岩及附近围岩中铜、铅、锌矿床	绿帘石、阳起石、矽卡岩及附近石灰岩	黄铜矿、闪锌矿、方铅矿	Cu、Zn、Pb
	动力变质及热液交代矿床	7. 白云岩中菱镁矿、滑石矿床	白云岩	菱镁矿、滑石	
		8. 白云岩中蛇纹石石棉矿床	白云岩	石棉	
		9. 超基性岩中蛇纹石石棉矿床	蛇纹石	石棉	石棉、菱镁矿、滑石
区域变质矿床	浅带区域变质矿床	10. 千枚岩中磁铁矿矿床	绢云母、绿泥石、千枚岩、石英岩	磁铁矿、镜铁矿、菱铁矿	Fe
		11. 变质砾岩中金矿床	变质砾岩、石英岩	自然金、沥青铀矿	Au、U
		12. 云母片岩中兰晶石矿床	二云母片岩	蓝晶石	
	中带及深带区域变质矿床	13. 绿色片岩及片麻岩中铁、金、铜矿床	绿泥石片岩、角闪岩、石英岩	磁铁矿、黄铜矿、自然金、黄铁矿	Fe、Cu、Au、Cr、Ni、U、温石棉
		14. 钾长石片麻岩中硅线石刚玉矿床	钾长石片麻岩	矽线石、刚玉	
		15. 大理岩中磷灰石矿床	白云大理岩、阳起石大理岩	磷灰石	

国内外一些学者（特别是苏联）强调开展建造研究，阐明岩石组合的生成环境、岩石组合之间以及矿床与岩石组合之间的内在联系，用以指导找矿。成岩成矿结合研究，在矿床共

生规律探讨中有重要意义。各类地质建造（包括地质、含矿和矿石建造）的重要特点之一，是它们在同一类构造中，以及在构造发展的一定阶段上重复出现，从而可以依此进行成矿预测。地质条件的多样性、地壳演化的方向性、以及地质作用的区域性，造成了地质建造的复杂性。成矿规律分析，就是要按不同范围分析各类地质建造、含矿建造及矿石建造的内在联系，恢复其生成环境，为预测找矿指明方向。关于建造分析的内容与方法，可参阅有关论著和教材，此处从略。

B.И.斯米尔诺夫按槽台观点，将岩浆岩与内生矿床划分为五个依次形成的共生组合：

① 在地槽期形成规模不同的超基性和基性岩组合，其中产有岩浆矿床和矽卡岩矿床。

② 在主要褶皱期，出现了酸性适中的、一般为浅成的巨大花岗岩体及有关的矽卡岩矿床和以Mo、Au为主的热液矿床。

③ 在②之后（或前）形成了巨大的花岗岩类岩体，其中产有含Sn、W、Mo及其它元素的伟晶岩、云英岩和石英脉。

④ 在由地槽向地台的过渡期，出现成分复杂的小型侵入体组合，其中有各种热液矿床。

⑤ 最后，在地台期可能出现基性或碱性岩的浅成小型侵入体组合，其中常常有火山爆裂口。与基性岩有关的多是硫化铜-镍岩浆矿床、金刚石矿床、铁的热液和矽卡岩矿床。与地台期碱性岩组合有关的是含铌、钽的碳酸盐岩和含金的小型热液矿床。

矿床共生组合受其形成环境所制约，不同的形成环境产生不同的矿床组合。按形成环境的不同，可将矿床组合分为下列五类（据孟宪民，1963）：

(1) 大洋组合：多为玄武岩组成，其中矿化以Ni、Cr等为主。处于热带、亚热带大洋中的岛屿一般可能有铝土矿的富集，并有锰矿或其它残积矿床产生。

(2) 大陆组合：碎屑岩、蒸发岩、白云岩、火山岩等均有发育，矿产主要有W、Sn、Nb、Ta砂矿、Au-U砾岩、宁乡式铁矿、宣龙式铁矿、红层铜矿、密西西比式铅锌矿、膏盐矿等。

(3) 陆缘组合：主要为三角洲沉积物、礁灰岩或大陆冰川的冰碛所组成，其中以三角洲和礁灰岩岩相为重要。矿产主要为油气、锰、钴、铜、镍、铅、锌等，在陆棚的沉积物中呈结核状聚积。

(4) 岛弧组合：产出岩石以安山岩为主，其次为杂砂岩与玄武岩，沿深断裂常有超基性岩体呈线状排列。矿产主要是Pb、Zn、Cu、Au、石膏、重晶石、油气及一些风化残余矿床（如铝土矿）。

(5) 原生山脉组合：主要岩石为花岗岩、花岗闪长岩、酸性与较基性的片麻岩互层。矿床有条带状铁矿、布鲁肯式铅锌矿、兰德式金铀矿等。

三、成矿系列

近几年来提出了成矿系列的新概念，这与矿床共生概念有关，是矿床共生规律研究的新进展。所谓成矿系列（体系），指的是具有统一成矿过程，时空上有密切联系、成因上有成生联系的矿床组合。在同一成矿系列中，可以包括不同矿种、不同成因类型但有亲缘关系的矿床。也就是说在一成矿区内，由于成矿演化阶段、成矿具体空间部位的不同以及构造与围岩条件的不同，可以产生不同形式（矿种、成因类型）的矿床，但它们彼此之间，由于同属

共同的成矿演化谱系、统一的成矿过程，因而又有稳定的内在成生联系。应该指出，矿床成因类型是内外因素综合作用的结果，往往受围岩、构造条件等外因所左右，而共同的成矿演化谱系、统一的成矿过程是其内在联系，我们要透过表现形式找本质联系，才能深入、准确地阐明成矿规律。

斑岩铜矿的成矿系列，反映了细脉浸染型铜（钼）矿床、裂隙脉型Cu-Pb-Zn矿床、黄铁矿矿床以及层状多金属矿床的成生联系。当含矿斑岩体有机会与碳酸岩呈侵入接触时，则能生成矽卡岩型铜矿。国内外实例很多，国外如美国比尤特铜矿、苏联科翁腊德铜矿、智利埃耳萨尔瓦多铜矿、埃耳特尼恩特铜矿等都有类似特点。我国西藏玉龙、山东香奋斑岩型铜矿都是很好的例子，江西城门山铜矿总结的"多位一体"成矿系列，"四带一面"成矿控制（即断裂带、裂隙带、层间破碎带、接触带和不同岩性的界面），在长江中下游一带有典型的意义。

宁芜盆地的玢岩铁矿，早在解放前即开采上部的"南山式铁矿"，解放后陆续发现了更为重要的凹山式、梅山式等铁矿，储量也有大幅度的增长。经30多年广大地质工作者的努力和近几年的重点研究，发现过去分别命名的向山式、南山式、凹山式、大东山式等铁矿床，原来是与辉长闪长玢岩有成因联系的、具有统一形成过程、共同成矿演化谱系的一组共生矿床（成矿系列）。在统一的地质和成矿作用下，围绕有关次火山岩体不同构造部位和围岩岩性，产出八种不同的矿化型式，包括一组从火山喷发沉积成因到岩浆晚期气成伟晶、高温气液、中低温热液，以及可能的矿浆充填成因的铁矿床。由于和辉长闪长玢岩具成因联系以及矿床本身的火山成因特征，这些铁矿床被概括称为"玢岩铁矿"成矿系列，并提出了它们的理想成矿模式图（图3-12），这对预测找矿有重要意义。

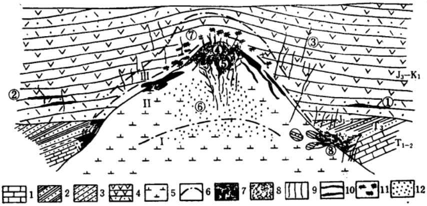


图3-12 玢岩铁矿理想模式图

（据宁芜铁矿研究组，1973）

1—青龙群石灰岩(T_{1-2})；2—黄马青组砂页岩（T_2）；3—象山群砂岩（J_{1-2}）；4—龙王山、大王山两旋回火山岩(J_3—K_1)；5—辉长闪长玢岩—辉长闪长岩；6—蚀变分带界线；7—角砾岩化带及角砾状矿石；8—块状矿石；9—镜铁矿或磁铁矿脉；10—层状铁矿，11—黄铁矿化；12—浸染状磁铁矿化；①—龙旗山式；②—竹园山式；③—龙虎山式；④—梅山式；⑤凹山式；⑥—陶村式；⑦—向山式（黄铁矿）；⑧—姑山式、凤凰山式；Ⅰ—下部浅色蚀变带；Ⅱ—中部深色蚀变带；Ⅲ—上部浅色蚀变带

程裕淇教授在研究我国主要铁矿类型时（1978）强调指出，有必要将一些生成条件虽有所不同而在成因上有相互关系的类型，分别纳入几个共同的类型组，以表达其形成过程中的

内在联系。在此基础上提出了铁矿成矿系列的概念，将各种铁矿类型，划分为四个成矿系列，并指出其有利于进行铁矿区域成矿分析和矿产预测工作。随后于1980年将内生矿床成矿系列初步划分为14类，沉积矿床划分为6类（表3-11、3-12），再次强调了矿床成矿系列问题的重要性。

表3-11　与岩浆作用有关的矿床成矿系列简表

（据程裕淇等简化，1980）

系　列　类　别	常见的（或可能的）矿种（或元素）	矿　床　实　例
1．与酸性中、浅成侵入活动有关的成矿系列		
①岩浆晚期、气成热液型亚系列	W、TR、Nb、Ta（Bi、Mo）	大吉山、西华山
②锡石硫化物型亚系列	Sn、Cu、Pb、Zn（W、Sb、Hg）	个旧、大厂
③云英岩、矽卡岩复合型亚系列	W、Bi、Sn、Mo(Be、Pb、Zn、Hg)	柿竹园
④接触交代、热液型亚系列	Fe、W、Mo、Zn(Cu、Pb、Sn、Bi)	翠宏山
⑤热液型亚系列	Co、Ni、Bi、Ag、U（As、Sn）	捷克西富矿山
2．与中、酸性浅成侵入活动有关的成矿系列		
①斑岩铁矿型亚系列	Fe、Mo（Cu、Pb、Zn）	河南八宝山
②斑岩铜矿型亚系列	Cu、Mo、Fe、S（Pb、Zn、Ag）	城门山
3．与酸性、中（偏基或偏酸）性火山侵入活动有关的成矿系列	Fe、Sn、Mo、Zn、Pb（Cu、S）	闽南、粤东
4．与海相酸、中性火山-侵入活动有关的成矿系列	Cu、Pb、Zn、S、石膏	日本黑矿
5．与海陆交替相中性火山-侵入活动有关的成矿系列	Au、Ag、Cu、Pb、Zn、S、Hg	罗马尼亚喀尔巴阡山
6．与中性(或偏酸)、中基性中、浅成侵入活动有关的成矿系列		
①接触交代热液型铁（铜、钴）亚系列	Fe（Cu、Co）	大　冶
②接触交代热液型铁、钴（砷）亚系列	Fe、Co（As）	苏联达什干山
7．与陆相富碱玄武安山岩质火山-侵入活动有关的成矿系列（玢岩铁矿型）	Fe（Cu、S、P、Au等）	宁　芜
8．与海相角斑质、中酸性火山-侵入活动有关的浅变质成矿系列	Fe（P）	瑞典基鲁纳
9．与细碧角斑质火山-侵入活动有关的浅变质成矿系列		
①第一亚系列	Fe（Cu）	云南大红山
②第二亚系列	Fe、S（Co）	云南大勐龙
③第三亚系列（含铜黄铁矿）	Cu、S（Pb、Zn）	白银厂
10．与铁质基性、超基性岩浆侵入活动有关的成矿系列	Fe、Ti、V（Co、Ni、Cu、Cr）等	大　庙
11．与镁质基性超基性岩浆侵入活动有关的成矿系列	Cr（Pt）	甘、新、藏

续表3-11

系　列　类　别	常见的（或可能的）矿种（或元素）	矿　床　实　例
12．与钙镁质基性超基性岩浆侵入活动有关的成矿系列	Cu、Ni（Pt）	金　川
13．与碱性岩浆侵入活动有关的成矿系列		
①与正长岩有关的亚系列	U、Th、Nb、TR	辽宁赛马
②与富钾质岩浆活动有关的碳酸岩型亚系列	TR、Th	美国加州蒙廷帕斯
③与富钠质超基性杂岩有关的碳酸岩型亚系列	Fe、P、TR	苏联科无朵尔
14．与酸性火山-侵入活动有关的非金属成矿系列		
①接触酸性淋滤交代型、刚玉、红柱石亚系列	红柱石、刚玉	苏联谢米兹—布台
②火山-气液交代型沸石、膨润土、珍珠岩亚系列	沸石、膨润土、珍珠岩	吉林九台

表3-12　与沉积作用有关的成矿系列简表

（据程裕淇等简化，1980）

系　列　类　别	常见的（或可能的）矿种（或元素）	矿　床　实　例
1．海相陆源碎屑岩、近岸硅质岩、碳酸盐岩组合的成矿系列		
①正常沉积的Fe、Mn亚系列	Fe、Mn矿	云南鱼子甸、广东乐昌、四川什坊、贵州
②沉积磷块岩亚系列	磷灰石矿或磷灰石-细晶磷灰石矿（或含F、Cl等）	
③沉积矿源层或受沉积期后作用叠加的Fe、Pb等亚系列	镜铁矿-方铅矿、闪锌矿（或含Sb、Hg、Ag等）	陕西大西沟
	菱铁矿（或含Pb、Zn、Cu、Sb、Au、U、Mn等）	
	黄铜矿-黄铁矿	东川铜矿
2．海相黑色页岩、石煤、硅质岩组合P、V、U、Mo、Ni等元素的成矿系列	黑页岩（或含U、V、Mo、Ni、Co、Cu）-磷结核、石煤、（或含V、Mo、Ni等）、硅质岩（或含U、V）、黑页岩-黄铁矿	湖南牛蹄塘组 华南孤峰组
3．海陆过渡相或陆相碎屑岩组合含Fe、Al、煤、石油的成矿系列		
①Fe、Al、煤亚系列	褐铁矿（或相变为黄铁矿）、铝土矿（或相变为耐火粘土矿）、煤层（常包含Ge、Ga等元素）	华北(C)褐铁矿、黔桂(C—P)的铝土矿、华北（C—P、T—J、R）的煤田
②石油、天然气、油页岩（自然硫）亚系列	石油、天然气矿藏（油田水常伴生K、Na、Li、B、I元素）及（或）油页岩矿（常伴生U、V、Cu等元素）及（或）自然硫矿（伴生石膏、硬石膏矿）	松辽(K)油田，茂名(E)油页岩、山东(E)自然硫

系　列　类　别	常见的（或可能的）矿种（或元素）	矿　床　实　例
4．海相碳酸盐岩、蒸发岩组合的成矿系列	石膏矿（石盐）、石盐矿（钾石盐）、石盐矿、（光卤石）	山西(O)石膏矿、四川(T)石盐矿、苏联(E)喀尔巴阡钾盐矿床
5．陆相碎屑岩、蒸发岩组合的成矿系列 ①夹海相层的亚系列	石膏矿-石盐矿，石盐矿-杂卤石矿，石盐矿-钾芒硝矿	大汶口(E)石盐、杂卤石矿床、江汉(E)石盐钾芒硝矿床
②单纯陆相亚系列	芒硝、天然碱矿-石膏、石盐矿、硼砂矿、石盐-光卤石矿	桐柏(E)天然碱矿、察尔汗光卤石矿、班戈湖硼砂矿
	含铜砂岩、含铜砂砾岩矿（或含U、V等）	滇粤(K—E)含铜砂岩矿
6．陆相表生风化残积带的成矿系列中、酸性火成岩表生风化带亚系列	高岭土、（红土型）铝土矿、富稀土元素粘土矿	苏州高岭土矿床、海南岛红土型铝土矿、赣南含稀土的风化壳矿床

成矿系列概念的提出，冲击了矿床研究中分门别类、彼此孤立割裂的倾向，而以成矿演化、联系发展观点作指导，既重视成矿演化谱系、成矿作用过程的共同特征，又注意地质条件局部变化对矿化的积极影响。在一个成矿区掌握了成矿系列特征，可以由此及彼指导预测找矿，开始发现的矿床可能是极个别的、不重要的，但可导致更重要的发现。成矿系列概念的提出，给预测找矿带来新希望，使找矿由一个矿种、一个矿床单独进行，有可能发展为成群成串、有联系分主次的综合找矿。预测找矿系列化虽有艰难的路要走，但这是很有前景的预测思想，深入研究矿床组群规律和共生机制是确定成矿系列的关键所在。

四、成矿模式（模型）

关于成矿模式问题，近年来国内外文献广为见及。所谓成矿模式是指以简明的图表形式或文字形式，对矿床组（或某一类矿床）的成矿地质特征、控矿因素以及矿化标志，进行高度综合和理论概括。在模式图上总的反映矿床物质成分和矿床时空分布这些要素，反映各种矿床类型与控矿条件、成矿过程的本质联系。如前述斑岩铜矿成矿模式、宁芜铁矿成矿模式（见图3-13）等都是在大量细致的野外和实验室工作基础上，对客观的成矿现象的一种抽象，是反映成矿条件和矿床分布规律的一种重要形式。

提出成矿模式的重要意义在于：

(1) 有利于加深成矿规律的研究深度。把成矿现象加以模型化，将复杂纷纭的成矿现象加以抽象、概括，突出强调本质联系和关键因素，而略去次要的外部枝节问题。研究矿床防止孤立片面，力求按事物本来面目去认识去反映客观规律，因而有利于切实掌握成矿演化和时空分布规律。

(2) 有利于把成矿预测建立在科学基础上，加强理论对预测实践的指导作用。成矿模式

指导预测，在于从实践中来，经过提炼，作为类比的标准，又回到实践中去。换言之，成矿预测的过程，就是总结成矿模式、应用成矿模式的过程。成矿模式既是成矿规律的高度概括，又是探讨成矿规律的重要手段；既起理论指导作用，又起拐仗武器的作用。根据成矿模式指导预测找矿实践已取得了良好的效果。V.F.麦凯尔维指出，过去15年来矿床学研究的主要成就，就是建立了4个成矿模式：即斑岩铜矿热液蚀变模式、密西西比河流域古含水层模式、沉积型铜矿的萨布哈模式以及日本的块状硫化物火山成因模式，可见成矿模式集中反映了成矿规律研究的主要成就。

我国南岭盛产钨矿，驰名中外。莫柱孙教授(1980)指出，南岭许多钨锡矿床与花岗岩型稀有、稀土元素矿床有密切的成因联系，它们可以用统一的成矿模式来表示，可分为8个矿化分带（表3-13）。

表3-13　南岭花岗岩蚀变、矿化分带模式

（据莫柱孙等，1980）

岩石种类	分　　带	有关矿床
围　岩	⑧远岩体矿化带 ⑦近岩体矿化带	有色(稀有)金属矿床
岩	⑥似伟晶岩壳 ⑤云英岩	有色(稀有)金属矿床
岩	④钠长石化，云英岩化花岗岩	稀有金属矿床
体	③铁锂云母化，钠长石化花岗岩 ②锂黑云母化，钾长石化花岗岩 ①黑云母花岗岩	稀土金属矿床

他并根据上述成矿模式将与花岗岩有关的成矿过程，大致分为四个阶段：

(1) 岩浆阶段，形成各类稀土元素矿床；

(2) 岩浆晚期交代作用阶段，形成各类稀有元素矿床；

(3) 伟晶岩阶段，形成各类稀有元素伟晶岩矿床；

(4) 气成热液阶段，形成各种有色金属（与稀有元素共生）、多金属矽卡岩和石英脉矿床。

南岭钨矿床的形成是地壳长期发展演化的结果。具亲氧特性的钨元素随着氧丰度在硅铝上部的升高而不断集中。沉积作用使钨元素在沉积分异中得到初步浓集或构成矿源层，多旋回构造岩浆活动导致钨、锡、铌、钽等成矿元素大量聚集形成矿床。自成矿岩体向外，金层属矿种从稀土金属→Nb、Ta→W、Sn、Mo、Bi→Cu、Pb、Zn→Sb作有规律的带状分布。成矿作用也从岩浆矿床、分异交代矿床到气成热液矿床、热液矿床演变，其理想成矿模式如图3-13。

成矿模式可有概念模式、图表模式与数字模式之分，当前以前两者最常用。概念模式，脉络清楚；图表模式，直观感强。不管那种模式，最根本的是充分揭示矿床组合特征和客观的内在联系。成矿模式的建立牵涉到成矿机制的研究程度，只有对成矿机制进行深入细致的研究，才能进一步建立起科学的、有普遍意义的成矿模式。这个问题以往研究得很不够，今已逐渐为人们所重视，当前值得注意的动向是：

(1) 由单项模式向综合模式发展。单项模式（如蚀变模式、矿体产状模式、控矿构造模式等）是研究问题的基础，但不全面；单项模式只说明部分问题，综合模式指出整体特征。概括得越高，越有指导意义。

(2) 由单一模式向多种模式并行发展。50年代时，重视概念模式，60年代以来图表模式时兴起来，今后将是三种模式并行使用。由于成矿的复杂性，单一模式不足以最优化概括，因此多种模式并行，各有各的依据和用场，是很自然的事。

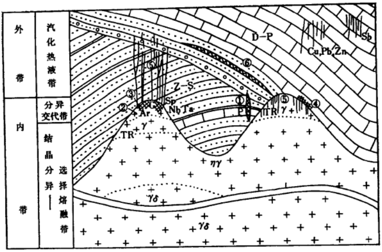


图3-13　与花岗岩浆侵入作用有关的钨矿床成矿模式图

（据冶金部南岭钨矿专题组，1979）

D—P—泥盆—二叠系砂页岩、碳酸盐；Z—S—震旦—志留系砂板岩夹碳酸盐；γδ—花岗闪长岩；ηγ—二长花岗岩；γ—花岗岩；Ar—钠长石化花岗岩；G—云英岩；SP—似伟晶岩；P—伟晶岩；①—伟晶岩型钨矿；②—花岗岩型钨矿；③—云英岩型钨矿；④—矽卡岩型钨矿；⑤—石英脉型钨矿；⑥—沿层充填交代型钨矿；TR—稀土矿床；Nb、Ta—铌、钽矿床；Cu、Pb、Zn—多金属矿床；Sb—锑矿床

（3）反映多来源、多成因、多阶段成矿观点的成矿模式甚少，今后应加强研究。

实践是检验真理的唯一标准。翟裕生教授指出，一个成矿模式只是代表当前某一地区、某一类型矿床的综合研究成果，它反映了人们现阶段的认识水平，是认识史上的一次飞跃，但不是固定不变的，而应该不断发展，不断提高。例如斑岩成矿模式，开始有石英二长岩型斑岩铜矿模式，而后有岛弧模式、正长岩模式、碱性岩模式和闪长岩模式等等，反映了区域地质背景的不同，也反映了认识上的发展变化。又如现有的玢岩铁矿模式，只反映了成矿母岩及其有关矿化类型的时空联系，如果考虑到广泛分布的膏盐层和含磷层对玢岩铁矿形成作用的影响，则玢岩铁矿成矿模式也应作相应的补充和修改。所以成矿模式反映相对真理，其本身要随研究的深入，不断改进，不断完善。

综上所述，研究矿床共生规律的重要意义在于：

（1）正确阐明矿床组合特征和时空分布，是探讨矿床成因机制所必需，同时又是矿床学研究中克服孤立片面的一个重要方面。从成矿系列着眼，注意局部与整体的关系，把矿床作为地质发展演化全局中的一个组成部分来考察，这对深入掌握成矿规律、指导预测，意义重大。

（2）以成矿系列（体系）的观点指导预测找矿，眼界开阔，思路宽广，能由此及彼，举一反三。既有整体观念，又能突出重点。当工作地区尚未发现矿床时，研究地质背景，选准选好有利成矿的远景区非常重要；当已发现一些矿床时，深入研究成矿地质条件，联想到是否是一个矿化集中区，是单一成矿系列造成，还是多个成矿系列的叠生，也许已发现的矿床从矿种、品位、规模和类型上并不太理想，我们要考虑到由小找大、由贫找富、由非急需矿种找与之共生的急需矿种。研究矿床共生，注意探讨其成矿系列归属问题以及其在整个系列

中所占的位置，从而通过其内在联系，逆流溯源，找到同一系列中其它可能赋存的矿床。总之，找矿在战术上是一个个地找，在战略上要按系列找，有床共生、成矿系列理论作指导，预测找矿的成效必然大大提高。

(3) 评价区域成矿远景，必须以矿床共生理论作指导。就矿评矿，虽是基础，但对同一成矿系列、成矿条件有利而暂时尚未发现的矿床也不可忽视。只要我们实事求是，有根有据，这种包括潜在矿床在内的区域矿产远景评价，是深思熟虑的，对长远规划有一定的重要意义。

总结本章所述，成矿规律研究，涉及面广，探索性强，主要结论可归纳如下：

(1) 在地壳大型构造单元及其各个地段内，各种类型的矿床成群成带、不均匀有规律的分布，它们在时间上相互更替，在空间上互相分离。这种规律不仅具有普遍的科学意义，而且对于预测各地区的含矿远景具有重大的实际意义。

(2) 成矿规律主要体现在矿质来源、矿床共生及时空分布上。成矿过程是个长期演化的复杂过程。成矿"三多"现象（矿质多来源、矿床多成因，成矿多阶段）比较普遍。矿床总是在一定地质背景上产生，同时又是地质演化发展过程的一部分，它和各种地质作用（构造、岩浆、沉积、变质等）息息相关。因此区域成矿作用的特点取决于以下一系列因素：区域在大地构造单元内的位置、各个构造发展阶段构造-岩浆杂岩的类型及发育强度、发展方向、构造成矿多旋回及继承性、构造成矿带的平行展布或彼此重叠。在构造成矿带内，下列因素也有意义：横向构造交叉复合、围岩的岩性-地层特点、含矿岩浆杂岩体的侵入深度及侵蚀断面的深度等。

(3) 地槽演化三个发展阶段，在同一地槽褶皱带中不同等发育。有的不发育中（晚）期阶段，只发育早期阶段；而有些地槽则反。划分出两种地槽褶皱带成矿类型：①亲玄武岩地槽褶皱带型与②亲花岗岩地槽褶皱带型；前者以早期阶段产物占优势，后者以中期阶段产物占优势。同时指出地台活化（地洼）作用有重要的成矿意义。

(4) 划分岩浆岩的不同成因类型和演化系列有十分重要的意义。地台和褶皱带内生成矿区的产生，与一定含矿岩浆杂岩的产出有关。它们形成于地壳的不同地带，而且在当初就富含了一定的金属。例如：

① 富含Cr、Ni、Ti、Fe、Pt、Pd（Cu、Co、V）的超基性-基性岩浆杂岩。

② 富含W、Sn、Bi、Mo、Nb、Ta、Be、TR（$\Sigma Y > \Sigma Ce$）、Pb、Zn、Sb、As、Fe、U、Cu、Hg、Au、Ag、Th、S等的壳源重熔型花岗杂岩。

③ 富含Nb、Ta、Th、U、TR（$\Sigma Ce > \Sigma Y$）Zr的幔源分异型花岗杂岩。

④ 富含Fe、Cu、Pb、Zn、Ag、Au、S、Mo、W等的混合源同熔型花岗杂岩。

不能否认岩浆同化上述某种杂岩和其它岩石的意义，因而也不可否认对于该杂岩来说并非典型的金属会发生某种程度的富集；同化作用（特别是碳酸盐岩石的同化作用）对于从岩浆中带出各种元素的影响不容怀疑。最后，含矿溶液沿其流动途径从围岩中淋走金属的作用也可能具有一定意义，但是所有这些都不起决定性作用，它们仅使矿化作用发展的基本方向复杂化而已。各类岩浆杂岩在构造发展的不同阶段，或相互平行发育，或发生有规律的更替；空间分布上，与相应的矿床组合一起产出，于是形成构造成矿带或成矿区。

(5) 成矿规律研究，需要不断地从矿产勘查和矿床地质工作中吸取营养、受到启发。成矿规律学（成矿学）是相关学科（构造学、沉积学、矿床学、岩石学、地球化学等）所获得的理论认识、所使用的方法技术的一个汇合点，同时又反过来对相关学科起一定的促进作

用。矿床是一些地质特点（构造、沉积、岩浆岩等）和现象的敏感展示者。没有矿床，这些特点和现象的深入认识就可能被推迟。本章所阐述的成矿原理原则，有助于成矿学的研究；而成矿学是专门结合地壳各部分地质发展总过程总特点，研究矿床形成、分布和共生规律的科学。有关矿质来源、成矿演化、成矿机制以及成矿系列和模式是成矿规律学今后值得重视的研究方向。

参 考 文 献

[1] 卢作祥、范永香，1982，关于成矿预测研究的几个问题。地球科学，第3期。

[2] 冯景兰，1963，关于成矿控制及成矿规律的几个重要问题的初步探讨。矿床学论文集，科学出版社。

[3] 沈永和，1982，论主要金属成矿的演化系列。矿床地质，第1卷第1期。

[4] 闻广，1982，成矿规律若干问题。中国地质科学院地质研究所所刊，第5期。

[5] 涂光炽，1983，与找矿有关的几个问题。地质与勘探，第4期。

[6] 涂光炽，1981，地质学中的若干思维方法。地质与勘探，第7期。

[7] 袁见齐等，1979，矿床学。地质出版社。

[8] 黄汲清，1962，从多旋回构造运动观点初步探讨地壳发展规律。地质学报，第42卷第2期。

[9] 曹添等，1963，地球化学。中国工业出版社。

[10] 郭文魁，1963，某些金属矿床的原生分带及其成因问题。地质学报，第43卷第3期。

[11] 郭文魁等，1982，中国东部成矿域与成矿期的基本特征。矿床地质，第1卷第1期。

[12] 斯米尔诺夫，B.И.1976，内生矿床的矿质来源。秦国兴等译，地质出版社。

[13] 程裕淇、闻广，1982，区域成矿分析若干问题。中国区域地质，第2期。

[14] 程裕淇等，1979，初论矿床的成矿系列问题。中国地质科学院院报，第1卷第1期。

[15] 谢家荣，1936，中国之矿产时代及矿产区域。地质论评，第1卷第3期。

[16] 谢格洛夫，A.Д.，1980，成矿分析原理。叶敬仁译，中国科学院长沙大地构造研究所出版。

[17] 翟裕生，1982，矿床学研究的新进展。地质与勘探，第3期。

[18] Park, C.F.and MacDiarmid, R.A., 1964, Ore deposits, 3 ed, Freeman, San Francisco

[19] Routhier, P., 1983, Where are the metals for the future ? "BRGM".

第四章　大区和区域成矿预测

第一节　成矿预测工作分类及大区成矿预测

一、成矿预测工作分类

前面三章对成矿预测的理论基础作了扼要论述，本章及后面两章将对成矿预测工作种类和预测方法作简要的介绍。

成矿预测工作，目前没有统一的分类，根据预测的目的、任务和要求，可将成矿预测工作大体上初步划分三类（大区的、区域的和矿区的），现将各类的基本特点列表于后（表4-1）。

表4-1　成矿预测工作分类

（各类的目的、任务和要求）

成矿预测种类	研究面积	常用的底图类型和比例尺	成果图比例尺	预测目的	图上要求划出的远景区大小	预测详细程度要求
1	2	3	4	5	6	7
大区的（概略的）	全国领土、省区范围	构造岩相（浆）图 1：400万～1：50万	1：100万或更小	全国领土和部分省区的资源远景比较评价，划分远景区 为地质测量和找矿工作的总体规划提供依据	成矿带（区）含矿带（区）	资源远景评价
区域的	专县范围或按含矿带（区）	简化地质矿产图 1：20万～1：5万	1：50万～1：10万	区域成矿远景比较评价 为1：5万或更大比例尺地质测量和找矿工作提出选区	矿带 矿区	资源远景评价或矿产预测储量评价
矿区的（局部的）	小范围（小于几百平方公里）或按矿带（区）、矿床	地质矿产图，加专题研究图件。1：5万或更大	1：5万或更大	综合矿产远景评价，划分出主要矿化类型 为部署详细找矿工作或深部找矿圈出面积	矿田 矿床	矿产预测储量评价

二、大区成矿预测特点

大区成矿预测是对资源远景进行战略性评价。其目的是迅速对矿产资源总量或潜力作出预测及估算。这不仅对部署地质勘探工作、快速掌握资源概貌和远景区总数是重要的依据，而且对国家和地区进行经济发展长远规划以及制定资源战略、资源政策也有重要的参考价值。正因为如此，当前这项工作已受到许多国家的广泛重视。如美国地质调查所1973年就进行了全国范围的资源摸底工作，对许多重要矿产不仅圈出了预测远景区，而且大体上也估算了矿产资源潜力。苏联对各经济协作区、煤田以及一些大型矿床也进行了这项预估工作；加拿大、日本等国也开展了相应的工作。

大区成矿预测是一项概略性的预测工作。基本方法是通过编制小比例尺成矿规律和预测图进行地质类比，即在研究已知成矿带（区）控矿因素、地质背景、成矿类型、地球物理及地球化学场特征的基础上，反复类比筛选，或预测新的远景区，或扩大老区矿产远景。70年代以来还注意了遥感遥测资料在大区成矿预测中的综合应用，美国利用卫星多波段影像分析，在新泽西州大西洋城老铁区预测找到了一些新远景地段；在巴基斯坦也用同类方法在已知的沙音达克斑岩铜矿区找到了10个远景区段，经现场检验有一半值得详查；联邦德国和巴西地质工作者根据航磁场特征，在巴西米纳斯吉拉斯州进行了铁矿预测，其成果已为后来的地面检查所证实。美国正在阿拉斯加州中南部纳比斯纳幅的一套图件中，除1：25万基础地质图外，还包括ERTS-1卫星影象判读图、航磁等值线图以及元素地球化学异常图等，根据这套系统资料圈出了25个远景区，估计了铜、钼、金、银等矿产资源潜力。

第二节　区域成矿预测

一、区域成矿预测的特点

区域成矿预测是有选择、分主次的中比例尺（1：50万—1：10万）的成矿预测。其目的任务是运用成矿理论，总结区域成矿规律，并对区域成矿远景作出比较评价，在预测图上要求分级圈出矿带或矿区，进一步为1：5万或更大比例尺地质测量和找矿工作提出选区。正因为如此，所以区域成矿预测也有人称为“选区性预测”，要求对区域内各类矿产资源作远景评价或预测储量评价。

区域成矿预测是中间性综合预测，在整个预测领域中起承前启后的作用，关键问题是选准、选好远景区。因此区域预测应沿已知成矿带（区）、含矿带（区）或远景区开展，防止铺摊过大，力量分散。在选区问题上，始终要集中力量，统观全局，反复推敲。既重视现有资料的利用，又不受其束缚；既重视同类型新矿床的预测，又注意新类型微信息的发现。我国60年代以来，对Fe、Cu、W、Sn、Au、Hg、金刚石等矿产，按此预测找矿，取得显著成效。国外也有类此做法，如苏联60年代中期曾在哈萨克斯坦沿乌斯品成矿带开展预测找矿，获得成功；70年代以来接着又沿楚-伊犁成矿带开展同类工作。又如世界著名的科迪勒拉成矿带，加拿大绿岩带，西班牙—葡萄牙黄铁矿带等，近10多年来一直是有关国家预测找矿活动比较集中的地带，同时也是成效卓著的地带。

区域成矿预测是战略性成矿预测，既需要扎实的基础地质研究作基础，又需要充分的成矿地质研究作先导。其具体作法是在综合分析现有资料的基础上，反复筛选对找矿有利的“靶区”，把区域成矿远景评价与典型矿床评价联系起来，带中选点，联点成片，点面结合。由于区域地质调查的不断深入、区域物化探以及遥感遥测技术的广泛应用，为迅速掌握区域地质总貌和成矿远景预测评价，提供了有利的条件。区域成矿预测，过去国内外工作较多，理论指导比较系统，当前正处在不断提高水平的蓬勃发展新阶段。

成矿作用与地壳发展演化中其它地质作用关系密切。区域地质背景和构造格架是成矿作用赖以发生发展的地质舞台；是研究矿床分布总格局、探讨成矿规律的重要基础；是进行成矿分区、评价区域远景的重要依据。因此，研究区域地质背景和构造格架，在区域成矿预测中有十分重要的意义。

二、地壳类型和深部构造在区域成矿预测中的作用

研究地壳类型和深部构造特征及其与矿化的关系，是近二十年来国际上区域成矿学的一个重要研究方向。对区域成矿深入研究表明，仅从地表或浅层构造来探讨面临的复杂成矿现象，并不总能解决矿床的形成与分布规律的全部问题，因为有些矿床的形成往往不只是受浅层地质因素的控制。从矿质来源分析来看，不少成矿物质，与上地幔、深地壳来源有关。成矿作用的区域性特征，溯源追根可能是上地幔、深地壳的不均匀性所造成。十分明显，区域成矿规律的深入探讨，势必联系地壳类型和深部构造。过去许多成矿基本问题的不同认识和争议，至少部分与深层因素的制约和影响的考虑不够或未予考虑有关。近年来苏联Ю.А.库兹涅佐夫在论述花岗岩类的含矿性时指出，岩浆期后成矿作用不单取决于分布在地壳上部的侵入体本身，而还取决于整个岩浆柱的成分和结构，其中包括岩浆源带，而岩浆源带通常是不均匀和多层的。因而，重要的是成矿物质的萃取不仅仅是由纯花岗岩组合提供，而主要是由包括基性岩和碱性岩在内的复杂深成岩组合提供的。由此可见，进行区域成矿预测研究，有关地壳物质组成和深层构造的资料以及有关含矿岩浆体系和矿质的可能来源的地壳柱（立体）概念是必不可少的。

向地球深部探测，不仅是理论地质的需要，而且也是成矿预测和灾害性地震预报的需要，国际上对此十分重视。自60年代以来多次组织有关科研活动，如1959—1960年第三届“国际地球物理年”、1963—1971年的“上地幔计划”、1970—1977年的“地球动力学计划”等，推动了美、苏等国进行地球深部研究。目前的基本做法是运用区域重力、地震测深、大地电磁测深、天然地震转换波、航磁和超深钻等资料，查明地壳类型、各层的厚度以及康氏面、莫霍面、M_3界面（地幔内部界面）的起伏，然后研究已知矿带、矿田、矿床与上述深部构造特点的关系，从而找出规律性的东西来。

美国对深部地质的了解，直至几年前多半只限于在沉积盆地钻探石油所获得的资料。最近几年，一个向地球深部探测的、被称为“大陆反射剖面团体（Cocorp）”的大学协作团体已对一些重要的地质单元（如怀俄明温德河隆起）作了一些主要测线。如1978年完成的一条测线，从田纳西州的河谷和山脊构造区一直延伸至佐治亚州的山麓和沿岸平原之间的接触带。结果证实，在结晶岩下有沉积岩存在。这些观测结果以及还有美国地质调查所所进行的一些工作表明，原始大西洋的古生代大陆边缘曾发生过大规模的逆掩作用，其水平推覆距离可能达到260km。很明显，这一作用涉及了非常大的范围，而该处被掩盖的沉积物是大量天然气的可能来源。

总的来看，美国在深部物质成分及实验岩石矿物方面工作做得多些，苏联则更多注意了深部构造。苏联已经利用深部地质成果编制了上地幔岩石类型分布图、莫霍面埋深与成矿省相关关系图等。并在一些典型矿区进行了详细的深部构造研究。

（一）地壳类型与成矿的关系

地壳厚度变化影响矿产分布。矿化集中区是地壳历史发展的结果。锡矿与厚地壳有关，铅锌矿与中等厚度地壳有关，而金、铜矿与薄地壳有关。对大多数成矿带（区）来说，花岗岩层的厚度和成分对金属矿化的分布和成分有一定影响，而玄武岩层的厚度和位置只对少数成矿带(区)有影响。玄武岩层和花岗岩层厚度的比例，对某些成矿带(区)来说，可以是一个重要因素。如苏联乌拉尔巨型铜矿床分布于玄武岩层厚度和地壳总厚度增大的地段；稀有金属

矿则分布于花岗岩层厚度增大而玄武岩层厚度减小的地段。在中央哈萨克斯坦，多金属矿化也集中于花岗岩层厚度增大，而玄武岩厚度减小的地段，金矿化则正好相反。

矿质有地幔来源与地壳来源之分。在不同成矿带（区）内，这些来源的作用不一样，这与地壳形成条件和构造发育特征有关。根据厚度和组分的不同，苏联将地壳划分为四种类型：

（1）铁镁质型（乌拉尔型）地壳：分布于大陆和大洋玄武岩壳层相连接处，主要发育绿岩带、基性超基性岩带，有很厚的细碧角斑岩建造。玄武岩层很厚，可达38km，花岗岩层很薄，过渡到洋壳即无花岗岩。典型矿化是Cr、Ni、Co、Pt、Ti、Fe以及黄铁矿型铜矿、多金属矿等。乌拉尔、高加索、滨太平洋等地属之。

（2）硅铝质型（远东型）地壳：其特点是硅铝层很厚，玄武岩层很薄，花岗岩层的成分各不相同。主要矿化有Sn、W、Mo、Au、Pb、Zn等。在锡霍特-阿岭花岗岩层和玄武岩层厚度变化以及金属矿化具相关性：在西部玄武岩层显得相对厚些，金属矿化以Sn、W、Au为主；在东部，显得薄些，金属矿化以Pb、Zn为主。苏联锡霍特-阿岭、维尔霍扬-科雷马和外贝加尔是这类地壳的代表。

（3）硅铝-铁镁质型（阿尔泰型）：在大陆地台之外很不均匀的玄武岩基底上形成。玄武岩层较花岗岩层为厚，花岗岩层的成分复杂、地壳厚度变化往往很大。主要矿化为Pb、Zn、Co、Au、Hg、萤石以及稀有金属等。阿尔泰—萨彦岭、哈萨克斯坦、西外贝加尔等属之。

（4）铁镁-硅铝质型（天山型）地壳：硅铝层较玄武层厚，主要发育与花岗岩类有关的矿化，典型的是Hg、Sb、Pb、Zn、Sn、Mo，此外有斑岩型Cu-Mo矿化。天山、准噶尔-巴尔哈什、额尔齐斯—斋桑属之。

我国近年来为了研究区域成矿规律，开展成矿远景区划工作，不少省、队已系统汇集已有的深部探测资料，对区域地壳类型与成矿关系提出了一些初步认识。如河北省地壳结构模式（如图4-1）自上而下可分为：

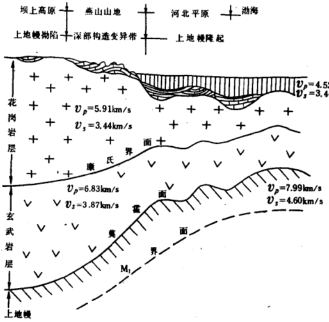


图4-1 河北省深部地壳构造模式图
（据张尔匡，1980）

（1）沉积盖层，由震旦系至第四系，厚度为0～12000m，密度自上而下逐渐增大，纵波速由2.0渐增至4.52km／s。新生界基本上为松散沉积，下部为半固结状态，主要分布在河北平原和渤海海区和前新生界地层一般有一个明显的界面。

（2）前震旦结晶基底和康氏面以上的花岗岩层。

（3）康氏面和莫霍面之间的玄武岩层。一些地震测深剖面上在50km左右也曾探测到M_1界面。

全省地壳基性度（玄武岩层厚度和地壳总厚度的比值）一般均小于0.5，花岗岩层厚度大于玄武岩层厚度，即硅铝层较厚，地壳类型应为铁镁-硅铝质型。所以区域岩浆活动以中酸性岩类为主，发育的矿床也以与花岗岩类有关的矿床为主。随着地壳基性度的局部变化，也略显差异，如坝上高原上地幔拗陷区，基性度较小，侵入岩基本上全为花岗岩，所以出现钨矿；而邯邢地区地壳基性度相对稍大，侵入岩以闪长岩为主，矿床主要为矽卡岩型铁矿。

（二）深部构造与成矿的关系

近年来运用地壳深部构造特征进行成矿分析和构造分区已初见成效。苏联B.B.普林格分析重力资料和极少数的地震剖面，研究远东南部深部构造，初步认为该处地壳的特征是厚度中等，但差异极大（30～44km）。其中鄂霍次克海和日本海沿岸地区地壳厚度最薄（30～32km），而在朱格朱尔、斯塔诺夫、锡霍特等山脉之下，地壳底面则下降到38～40km或更深处。对比远东南部地壳起伏图和新构造略图表明，稳定隆起区的特征是地壳厚度增大，而下沉为主的地区则地壳厚度减薄。这证明莫霍面的现代位置是与最新的构造运动的方式密切相关的。

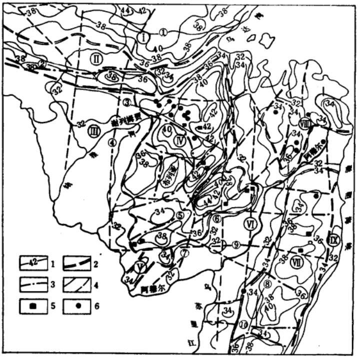


图4-2 苏联远东南部地壳底面起伏图

（据B.B.普林格，1976）

1—地壳底面等深线（km）；2—一级断块界线；3—二级断块界线；4—贯穿断块的断裂（实线表示实测的，虚线为推测的）；5—锡矿床或矿点；6—金矿床或矿点 Ⅰ—斯塔诺维克-朱格朱尔断块；Ⅱ—吉柳伊-乌达断块；Ⅲ—乌尔坎-阿穆尔断块；Ⅳ—图古尔-布列亚断块；Ⅴ—兴安岭断块；Ⅵ—乌苏里-阿穆尔断块；Ⅶ—锡霍特山脉断块；Ⅷ—下阿穆尔断块；Ⅸ—滨海断块。 贯穿断块的断裂（圈内以阿拉伯数字表示）：①—斯塔诺夫；②—北图库林格尔；③—南图库林格尔；④—阿穆尔—乌楚尔；⑤—兴安岭—鄂霍茨克；⑥霍尔—巴罗姆；⑦—库坎；⑧—中锡霍特山脉，⑨—比尔斯克；⑩—比金

由于地壳厚度变化的梯度大，地壳底面起伏复杂，故可通过分析地壳底面的等深线的高度、主要方向、梯度大小及平均密度等，将远东南部划分出9个一级断块（图4-2）。

一级断块的轮廓大体上与中生代—早新生代活化构造明显吻合，洼地地区与地壳厚度减薄的断块相当（重力场最大值区），深成火山带地区则与地壳增厚的断块相当（重力场最小值区）。

综合分析远东南部地壳底面起伏和成矿的关系，可以发现中生代—早新生代的锡、金、汞矿床的某些分布

规律取决于地壳厚度、地壳底面起伏的性质以及现代深部构造的其它一些特征。锡矿床一般分布在地壳厚度增大的断块内，金的内生矿床产于深部界面形态差异最大、地壳厚度中等或增厚的断块，而且主要分布在边缘部分和一些凸起上。金矿区地壳底面的等值线方向主要是东西向，而锡矿区则是北东向。

同时发现金属矿石建造的分布也取决于断块的深部构造特征。地壳厚度增大的断块，以金-石英建造为特征，在地壳厚度中等的断块中，由地壳厚度较厚地段向较薄地段依次见有Au-硫化物、Au-Sb、Au-Ag矿石建造。其次，锡矿石建造与地壳厚度、地壳底面的形态特征的关系也十分明显：石英-锡石和黑钨矿-锡石建造矿床产于地壳厚度大（40—42km）和厚度变化梯度增大的地段（布列亚断块）；硅酸盐-硫化物-锡石建造则分布于断块边部底面小突起、断裂带交切点上地壳底层破碎程度增高的地段（共青团矿区、兴安岭-奥洛诺伊矿区）。

分析表明，东西向贯穿断块的南图库林格尔断裂带，对远东南部具有巨大的成矿意义。该断裂带分割了不同特征的区域磁场区，其北部主要是金，南部主要是锡的矿化，地槽发展阶段（活化前）的褶皱构造在本区现代深部构造特征上反映较弱，中生代—早新生代活化期的构造在地壳底面形态中则显示较好，这情况说明本区的断块构造被新构造所继承。因此活化期形成的Sn、Au、Hg矿床，具有一定的分布规律，已为地壳深部构造特征提供的信息所证实。

B.C.库泽勃内从深部构造特征研究了阿尔泰内生矿化的分布规律，认为该地各种金属矿床都是按海西构造的总格局分布，组成呈北西向延伸的成矿带。各带矿化的不同与地壳深部构造有关（图4-3）：

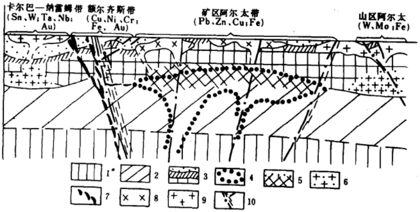


图4-3 苏联西南阿尔泰深部构造理想剖面图

（据B.C.库泽勃内，1975）

1—壳下层；2—玄武岩层；3—花岗变质岩层与地壳上部固结层；4—矿区阿尔泰深部岩浆源分布的推断轮廓；5—花岗变质岩层"玄武岩化"带；6—花岗岩层的软化区；7—玄武岩类侵入体；8—辉长岩类和花岗岩类；9—花岗岩类；10—深断裂及其羽状断裂

从图可见，矿区阿尔泰地壳剖面的特征是花岗变质岩层厚度减小（10～15km）"玄武岩"层厚度增大（30～35km）。这两层厚度比为1∶2～1∶3.5。地壳剖面上部构造为继承性复背斜隆起，以中海西期发育优地槽为特征。在花岗变质岩层的下部推测有一条由活化重

熔而形成的"玄武岩化"带。由于它多次活化上侵，形成中基性岩浆活动，伴生有铜、铁和多金属矿化。

卡尔巴—纳雷姆地壳剖面的特点是花岗变质岩层厚度增大，花岗变质岩层与玄武岩层厚度比为1∶1—1∶1.5。地壳剖面的上部构造为继承性发育的海西冒地槽带。此类岩浆源在晚古生代出现，形成了花岗岩建造及其有关的稀有金属矿化，也见有多金属和金矿化。

额尔齐斯带地壳剖面是过渡型的。其特点是玄武岩层急剧下陷，花岗变质岩层的厚度从矿区阿尔泰型地段向卡尔巴—纳雷姆型地段逐渐增大。玄武岩层的厚度变化从15km至20km。这两个岩层厚度的比为1∶1.5—1∶2.5。地壳剖面上部构造为复向斜或复背斜。据地震资料，断裂很发育，且具壳下性质，延伸达120km。沿深断裂辉长岩类侵入，有铜—磁黄铁矿化及铬、镍矿化。在广泛发育的壳内断裂内，形成了混合岩和深熔花岗岩，伴生有金与铁矿化。

我国河北省研究了深部构造与成矿的关系，编制了一些深部构造图件（图4-4、图4-5、图4-6，图4-7）。

从上4幅图可以看出，华北台向斜和河北平原上地幔隆起基本一致，其中任丘、大港、渤东三个上地幔凸起和浅层构造的冀中、黄骅、渤东三个坳陷基本对应。燕山太行山深部构造变异带比较复杂，在太行山区，浅层构造走向和深部构造走向基本一致，并有一系列NNE、NE向大断裂发育；在燕山地区深部构造变异带斜切了EW向燕山褶皱带，并使异常带宽度明显加大，生成次一级小变异带和上地幔凹陷和凸起，这些和浅层构造也有明显的对应关系。总之河北深部构造为中生代以来地壳变动与演化的结果，它的总体走向和亚洲板块与太平洋板块接触线方向基本一致，说明它的形成与发展应受这两大板块的运动所制约。

岩浆活动与深部构造的关系，从岩浆岩侵入时代和岩性来看，坝上高原以华力西期酸性

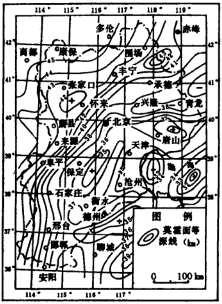


图4-4 河北省莫霍面等深线图
（据张尔匡，1980）



图4-5 河北省康氏面等深线图
（据张尔匡，1980）

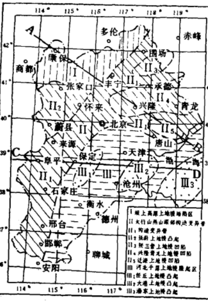


图4-6　河北省深部地质构造分区图
（据张尔匡，1980）

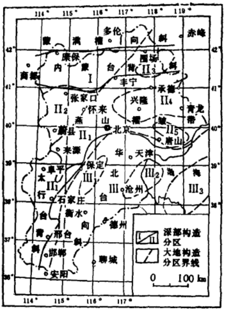


图4-7　河北省大地构造分区与深部构造关系图
（据张尔匡，1980）

岩浆岩为主，燕山太行山以燕山期中性到酸性岩浆岩为主，而在河北平原则以喜马拉雅山期中到基性的安山玄武岩、玄武岩为主，仅见少量的石英斑岩。

从深部构造分区与主要矿床分布的关系来看（图4-8），河北平原上地幔隆起区为新生代以来形成的一个巨大而复杂的断陷盆地。其中三个上地幔凸起，均为很有远景的油田和膏盐矿。在太行山—燕山深部构造变异，邢台以南莫霍面变异梯度每10km下降0.55km，相对较小，燕山期岩浆活动强烈，形成著名邯邢式铁矿。邢台至唐县段莫霍面变异梯度每10km为0.8～1.0km，相对较大，燕山期岩浆活动较弱，内生矿床较少。易县来源一带莫霍面变异梯度每10km为0.75km，燕山期岩浆活动强烈，形成铁铜、铅锌和石棉矿床。在燕山一带地壳构造变异带骤然加宽，形成4个次一级的变异亚带和3个上地幔凹陷区。前者自南至北为①以W、Mo、S为主，②以Au、Cu为主，③以Fe、Ti、V、Pt、Au、P为主，④以Pb、Zn、Au为主。后者自南往北为①迁滦地区，盛产

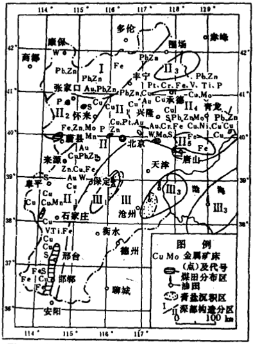


图4-8　河北省主要矿床分布与深部构造关系图
（据张尔匡，1980）

鞍山式铁矿（占冀东铁矿总储量的70%左右）；②兴隆宽城地区，以大型层状黄铁矿为主，Cu、Mo、Pb、Zn次之；③张三营地区，有Au、硫铁矿矿点。在坝上高原上地幔坳陷区，中生代沉积盆地规模较大，形成大煤田，内生矿化有铅、锌、金、钨等。

在深部构造变动与演化过程中，对一些原来已存在的矿床也加以改造，使其贫化或富集。如滦平县夹马石沟鞍山式铁矿，含矿带厚度大，具一定规模，但由于后期混合岩化作用，花岗质片麻岩呈条带状顺层注入，使矿层结构复杂，矿石贫化，降低了开采利用价值。又如丰宁红石拉铂矿，超基性岩体原始含铂较低，但在晚期变质作用中，使铂富集，形成矿物结晶粗大、具有工业开采价值的铂矿床。

总结上述，可以看出地壳深部构造特征，对大地构造、岩浆活动和各类矿床的形成与分布均有明显的影响或控制作用，值得深入探讨。河北省深部构造特征是地壳长期演化（特别是中生代以来）的结果。从总体上看，它是太平洋板块和亚洲板块碰撞在大陆地壳上的反映，所以河北省应归属于环太平洋成矿带的一部分。从深部构造特征和成矿的密切联系来看，我们认为河北省金属矿床的预测找矿方向，应以燕山褶皱带和太行台背斜为重点选区，尤其要抓住紫荆关-大海沱构造岩浆杂岩带。在这个杂岩带中应把主攻目标集中在怀来、赤城、丰宁、滦平以云雾山岩体为中心的地区，这里位于深部构造变异带的交汇处，表层构造复杂、岩浆活动强烈、成矿条件有利、矿化信息多，以往工作程度不高，通过工作很可能会有新的发现。这是研究地壳深部构造所得到的启示。

三、物探异常在区域成矿预测中的作用

利用区域物探成果，结合地质资料，深入研究区域地质构造、地壳深部构造和区域成矿规律，迅速筛选出成矿远景地段，从战略上正确选定远景区，对指导预测找矿具有重要的意义。

自50年代以来，国外美国、苏联、加拿大等比较重视区域物探工作，并取得了显著成果。1964年苏联完成了全国的中比例尺航磁测量，于1971年出版了全苏彩色航磁异常图。美国、加拿大、澳大利亚1974年完成了全国范围的航磁测量一半以上。重力中比例尺测量，苏联1975年完成全苏面积的40%。加拿大1976年完成全境的87%，澳大利亚完成1∶500万的全境重力测量。美国1959年出版了1∶250万的重力图，现着手利用卫星编制全球的重磁图。

我国1954年开始进行航磁测量，至1978年已完成各种比例尺航磁测量$6\times10^6km^2$，海域航磁测量$1\times10^6km^2$。地震、重力等方法结合石油、煤田勘察和地震地质研究，也做了大量工作。

现将物探成果在区域成矿预测中的重要作用择要分述于后。

1．提供深部矿化信息，有力地指导预测找矿

放射性异常是预测铀、钍矿床的重要信息。世界上著名的墨西哥、巴西铀矿均是利用放射性异常发现的。磁异常是发现磁性铁矿的重要信息。我国利用航磁或磁重结合，对铁矿和部分铁铜矿床预测，收到显著的效果。据不完全统计，我国航磁结果发现异常2万余处，其中700余处证明与各类铁矿有关。经地磁和地质工作检查，发现了铁矿260处以上，其中证明为大中型矿床有40余处。各类铁矿与区域构造（尤其是大的断裂构造）和岩浆活动有关。目前尚有不少异常待进一步工作，如甘肃北山地区、冀西—京西地区、粤西地区、石家庄衡水地区、绍兴—余山岛地区、山东无棣和寿光地区等，均需要进一步地面检查验证。

我国北方广泛分布的鞍山式铁矿，据航磁异常可直接对此类矿床进行预测。从已总结的规律看，大部分矿床分布在区域性磁异常的转折部位。如鞍山的樱桃园、东西鞍山、大孤山矿床，都位于磁异常带由NE转向EW的拐弯处；冀东滦县司家营、马城矿床处于向北突出的弧形异常带转折处；山西岚县袁家村铁矿处于NE和EW向正磁场带交汇处；河南许昌水道扬一带铁矿处于NW向古构造线转折处。另一方面大部分矿带走向均与区域构造方向（表现为磁异常带）呈大角度交叉。如前述樱桃园矿带走向为NW向，而区域构造线为NE到EW向；冀东的三大矿带（水厂、司家营、马城）走向近SN向，而该处的区域磁场为EW向延伸；霍邱铁矿区域磁场方向为EW向，而矿带为SN向；弓长岭矿区，矿带和矿体为NNE向，而区域构造线方向为EW向；密云沙厂、内蒙高腰海铁矿等亦有类似的现象。

为了提高航磁异常的找矿效果，要加强资料的综合研究。根据研究程度的不同、地质特点的不同，要各有侧重。如鄂东地区地质研究程度较高，先后数次进行航磁测量和地磁测量，对该区除已出露的6大岩体外，从磁异常的解释推断，认为上朱、牛山湖、吴伯浩、大冶钢厂等处尚有隐伏岩体存在。对已知岩体详细解释了其产状、形态以及诸岩体之间的深部关系。如铁山与鄂城岩体在浅部不连，阳新岩体和铁山岩体产状近于直立；金山店岩体向南倾；殷祖岩体向南西倾；灵乡岩体西段北倾、而东段近直立；鄂城岩体东段直立、西段南倾。对各岩体的接触带产状也做了分析。经过总结，不同地段矿与非矿异常具有不同的特征，如南部接触带铁矿表现为高正磁异常；而北部接触带则受岩体负异常的干扰，大而浅的Fe矿，表现为负异常背景中的低正值异常，埋藏深的矿体则为负异常中局部升高值。这些资料有力地指导了找矿预测。

2. 反映区域构造格架，对成矿分区、靶区筛选起指导作用

磁重测量资料清晰地反映了区域构造格架，这对大地构造单元的划分、构造单元边界线的确定以及成矿规律研究，都有重要的意义。从我国1∶200万航磁等值线图，结合部分地震、重力综合剖面，反映了我国的主要构造格架：以贺兰山—龙门山—大雪山近南北线为界，将我国领土分为东西两部分，其重磁场特征明显不同。东部的主要异常走向为NE或NNE向，而西部则为NWW和近EW向。在东部由东而西存在两个明显的重力梯度带：即沿郯庐断裂向北经渤海、辽东半岛西侧向依兰延伸；另一为沿太行山东侧向南越秦岭到湘黔交界山区，梯度变化$1.1\times10^{-3}cm/S^2$，向北接近燕山而转为近EW向延伸。从重磁资料反映了主要构造特征和主要构造单元的边界位置。一些比较大的穿透性深断裂亦有明显的反映。

以秦岭—大别山—宁镇山脉一线，将我国分为南北两部分，两者沉积建造、岩浆活动、古生物群的特征都有很大差别。

上述构造格架与地质上的认识和划分完全一致，为地质研究提供了更多的深部资料，为大地构造单元的划分、边界线的确定、各单元中次级构造的分析研究提供了可贵的资料。如华北地块，一系列的高磁异常，是变质基底的特征，一般盖层无强磁体存在。依航磁异常可以确定地块的边界和一些大断裂的存在，如郯庐断裂表现为正的线性磁异常。在地块内部存在一些古陆核，如山海关—迁西、内蒙东胜、五台恒山、天津到蚌埠等。从银川至泰山布格重力异常升高，说明太平洋西岸的深部莫氏面、康氏面起伏变化较大。

湖南省近年代来对境内的重磁资料进行了系统整理，将重力异常分为三级：一级重力梯度带是太行山到武陵山脉的重力梯度带，经本省的西部，反映了莫霍面的起伏和深断裂带。二、三级重力异常是次级断裂和大岩体的特征。

不同的地质体有其特定的地球物理特征，可以依此进行覆盖区和深部地质构造研究，如基

性、超基性岩体以正的重磁异常为特征；酸性侵入体和喷出岩以低重力、高放射性和相对较低的磁场而边部往往有较高的磁异常为特征；深断裂带以重磁、地热的线性链状异常和高梯度场位为特征；重要的内生硫化矿体，往往具有高自电异常和低电阻的特征等等。这些方面物探已经积累了丰富的资料，可在深入分析研究时参考。

3．反映地壳深部构造，间接指导预测找矿

航磁、重力资料和地震剖面结合研究，能提供深部构造的重要信息。关于地壳深部构造的实际资料，前20年在山区限于3～5km，平原区仅2～3km，洋底仅几米。大陆上地震观测深度仅7～8km。近二十年来，深地震（人工地震）、大地电磁测深等地球物理方法和仪器的进步及卫星遥感技术和深钻技术的发展（大陆上可直接钻入地球深达15km，海洋上达9～10km），使广泛开展区域地壳深部调查成为可能。地球物理研究紧密地与地质研究相结合，是深部构造研究获得丰硕成果的重要条件。

我国50年代以来，在石油地质普查中用工程爆破进行过地震测深，并在部分省区开展了1∶20万区域重力测量。1966年邢台地震以后，为解决地震地质问题，先后在京津唐张、华北平原和辽宁等地开展了一系列深部地质构造的探测和研究工作。曾经进行的地壳探测工作有：地震测深、大地电磁测深、天然地震转换波、航空磁测以及区域重力反演等。根据这些工作，对上述有关地区的地壳结构、深部构造及其与区域成矿的关系进行了初步探讨，取得了不少新认识，也积累了一些经验。前已述及，此处不赘。总之，工作已经开始，尚有不少新内容，有待今后继续深入研究。

国外以美国、苏联做了较多的工作。美国利用地壳厚度、布格重力数据、热流值以及纵波在上地幔中的波速等资料，来研究深部构造与成矿省分布型式的关系，但总的说来不如苏联那样系统。苏联利用地震测深研究地壳，自50年代在南部和远东海湾开始试测，1960～1969年深部地震研究工作量增长3倍，已获得总长度6×10^4km以上的地壳地震剖面220条，用多种深部地震法研究了乌克兰、中亚、哈萨克斯坦等地，基本方法是人工地震，一般采用反射波、转换波及纵波法，测深达15～20km，而50年代研究成功的深地震测深法在大陆上研究深度可达80～100km，海湾25～35km。局部地区还根据天然地震波的记录资料研究地壳。近年来"点地震测深法"成功地用来研究自然地理条件颇差的西伯利亚的地球深部。1962年定型的"地球"型轻便地震仪，对各种构造-地质环境都可用来研究地壳和上地幔。用"地球"轻便地震仪获得了50条以上的地壳和上地幔剖面，总长1.2×10^4km。此外，还结合航磁、区域重力广泛开展工作。苏联根据重磁场资料，将地壳分为玄武岩型和花岗岩型两类，前者为正的重磁场，后者为负值。各有不同的专属矿化，如乌拉尔铜矿在重力值高的地方，而另一些地区稀有金属矿化与重力值低相一致。

总之，为了进行战略性的区域成矿预测，针对地壳深部构造开展研究已十分必要。虽说超深钻已经使用，但从长远来看，有关地壳深部构造的主要信息仍将依靠地球物理方法来提供。所以各种物探方法，特别是地震测深、大地电磁测深、区域重力反演和航磁等，今后将发挥越来越大的作用。

四、化探异常在区域成矿预测中的作用

（一）概　述

我国从1956年起系统进行了1∶20万的区域地质测量工作，配合区测开展了系统的区域化探工作。已经完成的1∶20万区测面积占我国全境的1／2，均进行过金属量测量，取样在2千

万个以上，分析数据数亿以上，这些资料对指导预测找矿、研究成矿规律，具有重要的意义。近几年来多次召开全国性的专门会议，探讨了对这些成果的进一步综合整理和研究利用问题。

国外对区域化探也很重视，50年代苏联开始大力发展，目前正从深度、广度两个方面深入发展，一方面不断提高化探的找矿深度，扩大指示元素的应用范围；另一方面系统开展大面积工作，深入研究矿化异常，建立各种模型。经过总结，认为水系沉积物化探方法是适应性最大的有效方法之一，对上游的汇水盆地最具遥测能力，可以多快好省地筛选出最有远景的靶区。联合国在几十个发展中国家，80％用这种方法。其分析方法和精度也在不断改进和提高。现在大面积全国地球化学填图已在英（每平方英里*一个取样点）、美（$10km^2$一个取样点）、苏联（分散流$7km^2$一个取样点）、加拿大等国进行。从发展看，有可能对地壳的五个圈（岩石、土壤、水、气、生物）元素分布全面查定。分析的元素也逐步增加，几乎包括周期表中所有重要元素。

我国的区域化探工作，从50年代到60年代初，已大规模开展，曾经处于世界比较领先的地位，但后来由于分析技术和资料整理等没有跟上，目前与世界先进国家相比有一定差距，要尽快采取措施赶上去。结合我国具体情况，有关单位已在积极开展这方面的工作。在我国东部研究程度较高的地区，首先整理分析已有化探资料，制订重新扫面的计划。已有资料的综合整理研究，是一项极有意义的工作，应尽快用于找矿预测，以扭转当前后备基地不足的局面。可择其典型深入研究，取得经验，再区域展开，同时考虑重新扫面工作的进行。对于我国西部有些尚未进行系统化探的地区，正在考虑以低密度（每4～$5km^2$一个取样点）水系沉积物测量，尽快扫面。同时要注意提高分析技术，建立全国分析检查机构，以不断提高分析质量。

（二）化探异常的作用

各类区域化探异常，是重要的预测标志。化探异常与矿化在时空分布和成因上存在某种联系，分布范围较矿化地段为大，异常的组分和强度、广度都与矿化作用有关。化探异常在预测找矿中的作用，可归结为以下4个方面：

1．选择和圈定找矿远景区

区域地化异常，反映了区域成矿和地质特征。主要异常和异常带往往与矿带和矿化集中带相一致。异常本身反映了主要成矿元素和有关的指示元素的多阶段不断富集成矿的特点。主要异常区和异常带，尤其是异常中的浓集中心，就是进一步预测找矿的靶区。从异常分布可以迅速筛选出最有远景的地段。

根据组成异常的组分及结构特点，结合所在地的地质构造特征，可以确定该区重点找寻的矿种及可能的矿化类型，从而可以对区域总的成矿远景做出估价。

异常本身往往反映成矿元素的不均匀分布的特点，这为潜在矿产评价和深部成矿预测指出了方向。在区域预测找矿中，正确选择并圈定成矿远景靶区，是具有战略意义的、关系全局的问题，也是提高找矿效果的重要步骤。要能做到预测找矿主攻方向正确，首先必须认真选准选好成矿远景区。

建国以来，我国应用区域化探指导预测找矿，取得了不少经验和成绩。普遍认为水系沉积物测量（分散流法）是一种简便、快速、有效的区域化探方法。在配合1：20～1：5万区域地质调查和找矿中，发挥了重要作用。在四川、广东、云南、浙江、安徽、江西、青海、甘肃、陕西等省区找到许多重要矿床，其中以各种有色金属矿床找矿效果最好。

在不同研究程度的地区，迅速缩小靶区，从而使力量集中，突破关键。如安徽铜陵地区是研究程度较高的地区，1961年开始进行了水系沉积物取样，但当时对化探重视不够，找矿工

作单纯根据地表铁帽和氧化露头标志，再加大量槽井揭露，成效不大。1976年后对化探资料进行系统整理研究后发现，重要的铜矿床均在区域性铜异常中。工作无成效的点均无明显的铜异常。现在回过头来看，如当时充分利用化探资料，可以大大缩短找矿过程，节约找矿投资，无远景的地段或矿点可以少投甚至不投工作量。另一方面从化探资料看，有一些远景地段开展工作很少，虽有化探异常，但地表无明显的矿化现象，值得今后重视。

在研究程度较低的地区，找矿预测要做到迅速选准靶区，区域地化资料就显得更为重要。如青海对多金属矿找矿预测中，过去只据地表矿化现象和铁帽指导工作，1968年开始开展分散流法找矿（每1km²2～3个取样点），分析了Cu、Pb、Zn、Mo、W等元素，圈出了异常，从异常指出两个有远景的靶区，即那然公码铜异常和Cu-Mo异常，后者反映了斑岩铜矿的特征。另一远景区为比如朵牙朵花是铅锌矿的特征。异常中心在山的南坡，而不在北坡。

湖南对1∶20万区测的化探资料整理研究后发现，湘西下寒武统地层中含V、Ni、Mo高，可能是V、Ni、Mo多种金属的层控矿所引起，有待进一步研究。另外，Cu、Pb、Zn、Mo等异常带的展布，往往与已知成矿带一致，异常的长轴方向与区域构造带方向一致，为进一步布置1∶5万地质测量提供了依据。

直接从区域化探发现异常，进而找到矿的例子很多。如四川西南部进行1∶20万水系沉积物测量，经整理共发现异常86处，据地质和异常特征，划分为5个异常区（图4-9）：

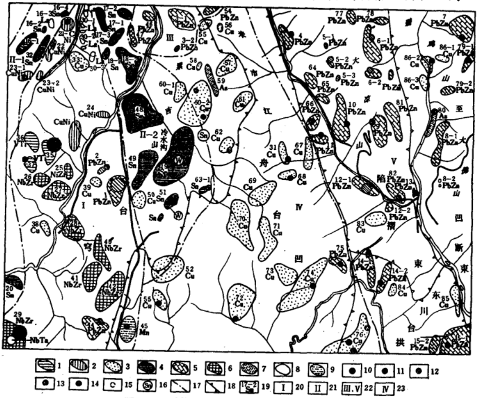


图4-9 四川西南部水系沉积物异常分布图

（据四川省地质局物探队，1978）

1—(Mn)V、Ti异常；2—Cu、Ni异常；3—Cu异常；4—Sn异常；5—Pb、Zn异常；6—Nb(Ta)Zr(Hf)异常；7—As异常；8—La异常；9—Mn异常；10—铁矿（圆圈大小表示矿的规模）；11—Cu、Ni矿；12—Cu矿；13—Pb、Zn矿；14—稀有、稀土矿；15—矿化；16—新发现的矿产(Sn)；17—异常区界；18—构造单元界线；19—异常编号；20—铁族、稀有、稀土和有色金属元素异常区；21—Sn异常区；22—Pb、Zn异常区；23—Cu异常区

Ⅰ.铁族、稀有、稀土和有色金属异常区；

Ⅱ.（Ⅱ-1，Ⅱ-2）锡异常区；

Ⅲ.铅锌异常区；

Ⅳ.铜异常区；

Ⅴ.铅锌异常区。

这些新异常，经近几年来进一步工作，已发现大、中型锡矿床、中型铌—钽矿床各1个，此外还有不少钨、金、铁、铅锌等矿种的远景区或评价点，给今后找矿工作指出了方向。

陕、甘、青三省冶勘公司地质队1964—1972年在秦岭、祁连山一带8900km²范围内，进行水系沉积物测量，采样104871个，分析了Cu、Pb、Zn、Hg、Sb、W、Sn、Mo、Ni、Cr、Co，圈出异常397处，远景区百余处。据此成果找到了陕南牧户关多金属矿、山阳汞矿、甘南昌马锑矿、陕西煎茶岭镍矿、柞水银洞子铅银矿等。这些经验说明，大面积分散流测量，主要不是直接找矿，而重点是圈出远景区、预测成矿带、进行区域评价，使整个地质工作的战略部署更合理。如山阳汞锑矿田，原来只发现少数几个小矿点，后来从区域化探发现42个异常，异常分布在北、中、南三个带，主要异常集中在南带的中部，很快确定了远景地段并找到了大矿。

利用区域化探成果进行远景区的选择，是一项很有意义的工作。目前对各类化探资料系统整理研究不够，重要性认识不足，与地质的充分结合也不够。过去存在片面追求"矿异常"的倾向，因而不适当地提高异常的下限，无形中丢掉了一些有价值的异常。今后应将主要注意力集中在远景区选择和矿带预测上，选择最有远景地段，步步深入，重点突破。

2．研究区域成矿规律

借助区域化探资料，可进行区域成矿规律研究。从矿化与地质体的联系、主要控矿因素对成矿的控制、预测地区主要矿化特征，到矿床分带、主要矿带的空间展布等，在区域化探异常上都得到不同程度的反映，各省区均有许多成功的例子。

河南栾川地区，将水系沉积物测量成果，成功地用于区域成矿规律研究。栾川位于伏牛山区，地形切割强烈，水系发育，风化作用强烈。主要出露震旦系地层，构造线方向为NW和NWW，中部为复向斜，南北为复背斜。岩浆活动频繁，主要有加里东碱性花岗岩、辉长岩、燕山早期的花岗斑岩、晚期的花岗岩。水系沉积物地球化学测量，分析了28个元素，圈出75个异常，其中55个W、Mo、Cu、Pb、Zn、Ag异常，16个Cr、Ni、Co、V、Ti异常，4个稀散元素异常。异常集中分布在复向斜中的次级背斜上，Mo、Cu、W元素组合，形成异常的浓集中心，反映了钼矿的所在（图4-10）。从异常分布可以看出矿化受次级背斜和NW向断裂控制，后来为已知矿区的研究所证实。分散流异常在空间展布上显示了明显的分带性，以南泥湖—石宝沟为中心，可以分为3个带：中心带为W、Mo、Cu组合；中间带为Zn、Pb、Ag组合；边部带为As、Ba组合。元素组合和主要元素的含量梯度呈规律的变化，体现了从W、Mo（Bi）→Cu、Zn→Pb、Ag→Au→Be、Ge，从高温到中低温的元素组合序列。凡是W、Mo、Cu高温组合区，均有花岗斑岩出露。每个花岗斑岩小岩体上，也显示了从中心向外的元素分带现象，因此认为燕山早期的花岗斑岩是该多金属矿的成矿母岩。在其内外接触带是斑岩型和矽卡岩型W、Fe、Cu、Mo矿化有利部位，其外侧为Cu、Zn、Pb、Ag等中温热液矿化的有利地区。另一方面矿化受褶皱和断裂控制，在栾川复向斜的中部，尤其是其中级序小的背斜是W、Cu、Mo、Pb、Zn等成矿有利的构造部位，Pb、Zn主要受断裂控制。以上分析，为预测找矿指明了方向。在分析地化异常和地质背景的基础上，在该区划分

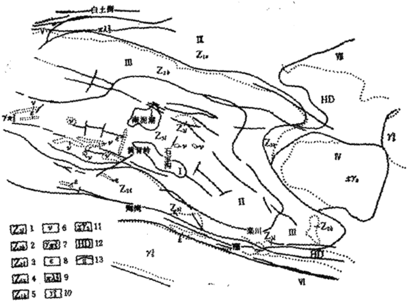


图4-10　河南栾川南泥湖—石宝沟一带地球化学分区预测图

Ⅰ—W、Mo、Cu、Fe高温成矿区；Ⅱ—Pb、Zn、Ag、Cu中温成矿区；Ⅲ—As、Ba、Ge、Pb、Ag低温异常区；Ⅳ—Y、La、Nb、Be、Zr稀散元素成矿区；Ⅴ—Pb、Zn、Ag、Cu碳酸盐岩成矿区；Ⅵ—W、Sn、Mo花岗岩异常区；Ⅶ—Cu、Pb、Zn混合岩异常区；Ⅷ—Cu、Cr、Ni、Ti、Mo细碧岩异常区；Ⅸ—Fe、Cr、Ti、V中基性喷发岩异常区；1—栾川群；2—白玉沟群；3—陶湾群；4—熊耳群；5—宽坪群；6—辉长岩；7—花岗斑岩；8—正长斑岩；9—流纹斑岩；10—黑云母花岗岩；11—碱性花岗岩；12—混合岩；13—成矿预测区

出9个地球化学区，提出了26个远景预测区。其中一级预测区10个（6个为已知矿区周围），二级远景预测区16个。作为一级预测区的标准是元素组合全、异常强度高、分布范围广、成矿条件有利、找矿远景大，可作为进一步详查基地。二级预测区的标准是异常范围较小、找矿远景不及前者，可作为进一步普查基地。

区域化探成果所圈出的元素异常分带，往往与矿床分带相一致，因而可借助前者，研究矿床分带规律。陕西秦岭中部分散流测量资料便是一个例子（图4-11），该区分布有元古代的片岩及大理岩，沿花岗岩体接触带有矽卡岩型铁铜矿和铜矿，向外有铅锌或多金属热液矿化。分散流测量成果指出沿接触带为Cu异常，向外则为Pb、Zn、Ag异常。化探异常的分带性明显反映了成矿的分带性。

大比例尺岩石地球化学测量，利用不同的指示元素，区分矿前晕和矿尾晕，广泛用于矿区深部找矿和盲矿预测，这在后续章节中叙述。

3．评价地质体的含矿性

主要用于成矿地质背景分析，分析岩体和地层的含矿性、分析构造与矿化的关系等。陕西冶勘公司地质队在陕南勉略地区从化探异常的Ni、Cr、Co典型组合，发现了基性、超

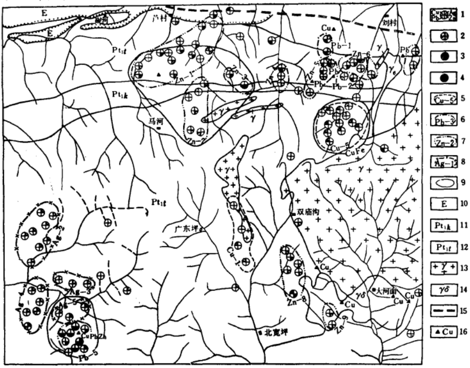


图4-11　陕西秦岭中部分散流测量成果图

1—各元素含量标注区间；2—Ag<0.1～0.14ppm、Cu40～45ppm、Pb 20～25 ppm、Zn90～130ppm；3—Ag0.15～0.29ppm、Cu46～50 ppm、Pb 26～30 ppm、Zn 131～200ppm；4—Ag>0.29ppm、Cu>50ppm、Pb>30ppm、Zn>200ppm；5—铜分散流及编号；6—铅分散流及编号；7—锌分散流及编号；8—银分散流及编号；9—Cu、Pb、Zn远景区；10—第三系；11—阳起石片岩、角闪片岩；12—云母石英片岩、石英岩、硅化大理岩；13—肉红色中粗粒花岗岩；14—花岗闪长岩；15—断裂带，16—矿点及矿种

基性岩体。一般异常强度表现为Ni含量从数百到数千ppm，另外还有明显的航磁异常。如张家坪M_{205}航磁异常，原解释为花岗岩接触带上的矽卡岩矿化，但从化探Ni、Cr、Co三元素的异常组合看，（Ni 500ppm，Cr、Co数千ppm），纠正了单纯依靠航磁的错误判断，发现了新的基性、超基性岩体。此后还借助化探异常区分该两类岩体。超基性岩体的分散流异常为Ni、Cr、Co组合，而基性岩引起的分散流异常，除Ni、Cr、Co组合外，还有V的异常，一般在1000ppm以上，有时还出现Cu、Zn的组合，如马家山、水泉湾等地的基性岩体均有上述的特点。

有的地区不仅根据化探异常找岩体，而且根据次生晕分析岩体的含矿性。如滇西在小龙潭岩体上发现了Cu、Mo、Pb、Ag的综合异常，在矿化的石英二长斑岩上，有的样品Cu含量高于1000ppm，而且Cu、Mo、Pb异常有明显的分带性，初步认为该岩体可能有斑岩型Cu-Mo矿化，后经钻探验证果然找到了铜钼矿体。

在沉积岩为主的地区，从化探异常分布与地层分布的关系，可以分析不同地层的含矿性，如赣东北地区的区域化探资料，发现有Cu、V、Ag，Mo、Zn、Ni、Co的异常，形态

呈条带状，与地层走向一致，延伸数十公里，与寒武系下部的泥灰质岩石有关，个别地段富集达到工业品位。对沉积矿床、层控矿床的预测都有重要意义。

区域性断裂的含矿性，往往从异常分布与断裂展布有密切关系得到启示。这也反映了断裂对内生矿化的控制作用。

4. 用于覆盖地区的地质填图和地质研究

在覆盖地区，可以根据区域化探异常进行地质填图和地质研究，从而间接服务于预测找矿。如湖北区测队在大别山区大悟、红安超基性岩带上，以化探异常结合航测、重砂成果，可以准确地圈出覆盖和隐伏的基性、超基性岩体。化探Cr、Ni异常，重砂铬铁矿异常，为超基性岩的标志。一般Cr异常为500ppm，Ni异常200ppm，在该区10个Ni、Cr异常，8个证实与超基性岩体吻合，另外2个是隐伏超基性岩体引起的。

不同的地层所含成矿元素不同，如湖北在通山幅区测中，发现震旦系南沱砂岩中富铜，寒武系底部富钒、钼等多种元素，中部富磷。志留系局部富铜、铅，二叠系上部富钼。从而可以据化探资料进行覆盖区地质填图。此外还据元素分布特征，分析了古沉积环境。

在变质岩地区，可以用微量元素的组合资料，对地层划分和对比。如大别山区太古界大别群普遍含Zr高（一般为0.01～0.09%），而元古界红安群含Zr低（多在0.003%以下）。其中七角山组富Cu、Pb、Cr、Ni、Co，而天台山组含Ba、Sr较高。微量元素组合特征，还可能提供原岩成因特征的信息。如区别变质岩中角闪岩的成因，从Cr、Ni、Ti的含量高判断，有可能属岩浆岩变质而来；而Ni、Rb、Cs和B的富集，则是沉积岩变质的特征。还可参照有关元素的比值，如Sr/Ba比值大于1，是从岩浆岩变质而来的角闪岩的特征，而沉积岩变质而来的角闪岩，其比值为0.5～0.7。Fe/V比值原岩岩浆成因高于原始沉积成因，Ca/Sr比值则相反。

不同期的侵入体，所含微量元素组合也有不同。如秦岭地区加里东期花岗岩含Y、Yb高，印支期含V高，燕山早期的含Cu、Mo高。

华南地区的花岗岩类，所含的微量元素，随时代不同呈有规律的变化。花岗岩类从老到新，铁族元素（V、Cr、Co、Ni）的含量逐渐降低，稀有元素（Nb、Ta、Zr、Li、Be、W、Sn等）含量逐渐增高。亲硫元素Cu、Zn等总的趋向，随时代变新而含量降低（Pb变化不明显）。微量元素的上述趋势变化，在区域地质调查中有助于岩体划分和对比，有助于花岗岩类成因的研究。

第三节　区域成矿预测实例

一、广西锰矿地质特征及成矿预测

广西锰矿分布广泛，储量丰富。解放以来，许多单位进行过大量地质勘探工作，取得了较大成绩，积累了不少资料。在这基础上，对广西锰矿的成矿地质特征、矿床成因和预测，作如下初步探讨。

（一）锰矿层位及含矿岩系

1. 与锰矿有关的地层

本区自上元古界至新生界均有出露，其中与沉积锰矿及其氧化次生矿床有关的地层，全由沉积岩组成。现列出与锰矿层有关的地层如表4-2。

表4-2说明，本区前泥盆系为一套巨厚沉积的复理式韵律明显的海相砂页岩建造。在泥

表 4-2　广西与锰矿有关的地层

系	统（群）	阶（组）	主要岩性简述	厚度（m）	接触关系	地壳运动	主要分布地区
侏罗系	上、下统		砾岩、砾状砂岩、砂岩、泥岩及少量砂质页岩，部分地区夹有凝灰岩、上、下部常有煤层，局部有锰矿层	254～1025			桂东南、桂东等
					～不整合～	印支	
三叠系	上统		粉砂岩、细砂岩夹页岩、泥岩，局部有泥灰岩	>41～227			桂西、桂南、桂中等
	中统		泥岩、页岩、细砂岩夹泥灰岩、凝灰岩，中下部含碳酸锰矿层	528～1258			
					—平行不整合—		
	下统		灰岩、白云岩质灰岩、泥岩、页岩为主，局部夹凝灰岩	157～1754			
					—平行不整合—		
二叠系	上统	合山组	灰岩、白云岩夹泥岩，下部含铝土矿及煤系	59～780			桂东北、桂中、桂东南、桂西南等
					～不整合～	东吴（二幕）	
	下统	茅口阶	灰岩夹白云岩，部分地区为硅质岩、含碳酸锰矿（孤峰组）	50～300			
		栖霞阶	灰岩为主，少量白云岩，有的下部含煤层或铝土矿	50～260			
					平行不整合或整合	云南（二幕）　海西	
石炭系	上统		灰岩或夹有白云岩	221～716			桂中、桂北、桂南等
	中统		上部为黄龙灰岩夹白云岩，下部为大埔白云岩	472～1298			
	下统	大塘阶	灰岩夹硅质岩，上部有煤层、碳酸锰矿及菱铁矿结核	128～764			
					平行不整合或整合	淮南（一幕）	
		岩关阶	灰岩、燧石灰岩夹硅质岩，局部（靖西）有基性喷发岩	129～875			
					平行不整合或整合	柳江（一幕）	
泥盆系	上统		灰岩，部分为扁豆灰岩、硅质页岩及少量砂页岩，为主要含锰层位（榴江组）	195～2714			桂中、桂东北、桂西北、桂南、桂东南零星分布
	中统	东岗岭阶 郁江阶	灰岩、泥灰岩、泥岩、碳质页岩及少量白云岩 泥岩、页岩或灰岩、泥灰岩夹砂岩，含赤铁矿层（桂北）	627～2096			
	下统	那高岭组 莲花山组	砂页岩或泥岩、砂岩，局部夹泥灰岩，含磷或菱铁矿层 砂岩、砾岩及少量页岩	154～771			

系	统（群）	阶（组）	主要岩性简述	厚　度（m）	接触关系	地壳运动	主要分布地区
志留系			细砂岩、长石石英砂岩、页岩，局部夹灰岩或砾岩，上部有菱铁矿（钦州地区）	2912～6176	～不整合～ —平行不整合—	加里东	桂东南
奥陶系			长石石英砂岩、细砂岩、粉砂岩、页岩，局部夹灰岩、硅质页岩；中部见有含锰菱铁矿（桂东南）	2067～6709			桂东南
寒武系	水口群	边溪组与清溪组	长石石英砂岩、砂岩、粉砂岩，局部夹硅质岩、细砂岩或灰岩；局部含菱铁矿层或磁铁矿层	1552～7417			桂东、桂北及桂南
震旦系	上统		硅质岩夹页岩及白云岩，碳质页岩及少量白云岩，局部含磷及锰矿层（陡山沱组）	2643～4504	上、中、下统之间为平行不整合。下统与下板溪群为平行不整合或整合		桂北
	中统		冰水-滨海沉积含砾砂岩、泥岩、千枚岩、长石石英砂岩、钙质砂岩、千枚岩含赤铁矿层（富禄组）				
	下统		冰水-滨海沉积含砾长石石英砂岩、千枚岩等				

（据广西冶勘273队，1976）

盆纪至三叠纪有一个较大的海浸沉积旋回。其中中、下泥盆统为滨海相碎屑岩；上泥盆统—上石炭统为浅海-滨海相碳酸盐夹硅质、碳质、泥砂质沉积；属于海进时期。中、上石炭统浅海相碳酸盐沉积显著，为海进全盛时期。从下二叠统开始，碳酸盐岩中夹有硅质、碳质岩；下三叠统至中三叠统，在碳酸盐岩中泥砂质夹层增多，至三叠世晚期转为泻湖相沉积，属于海退时期。侏罗系至第三系为一套泻湖相陆相碎屑岩建造。

2．锰矿赋存层位

主要是榴江组(D_2l)，占本区总储量的大部分；其次是岩关、大塘阶（C_1），如包括预测储量应占第二位，第三是孤峰组（P_1g），第四是中、上三叠统平而关群（T_{2-3}），第五是下侏罗统西湾群（J_1）。此外，在陡山沱组（Z_3d）也见有锰矿点分布。

榴江组、岩关—大塘阶、孤峰组是广西主要含锰层位。

3．含矿岩系的基本特征

本区的沉积锰矿与一定的沉积岩相有着密切的关系。锰矿层在地层剖面中有其特定的位置以及特有的含矿建造和含矿岩系。兹以区内几个主要成矿时代的重要矿区为例，摘要列述如下：

（1）上泥盆统榴江组含矿岩系剖面（以桂西南某矿区为例）：

下石炭统岩关阶

———— 整合或平行不整合 ————

上泥盆统榴江组——含矿岩系

⑥含硅质及泥质硅质灰岩　　200m

④钙质泥岩夹硅质灰岩、泥质灰岩、碳质泥岩及碳质硅质灰岩、含锰质　20～30m

③硅质灰岩夹钙质泥岩，夹锰质岩层，局部次生富集可成氧化锰矿　10～44m

②锰矿层

Ⅴ 薄层条带状碳酸锰矿层，顶部含黄铁矿　0.4～2.38m

Ⅳ 含锰硅质泥岩或泥质灰岩　0.1～3.0m

Ⅲ 碳酸锰矿层：矿石构造上部为鲕状、扁豆状，中部为块状，下部为豆状、鲕状、条带状　0.4～0.7m

Ⅱ 硅质灰岩夹泥质灰岩、钙质泥岩及页岩，含少量锰质　0.16～16.94m

Ⅰ 碳酸锰矿层：呈条带状、鲕状等构造　0.48～2.70m

①上部泥质灰岩、钙质页岩夹2层含锰泥岩、页岩；下部硅质岩、硅质泥岩、页岩　137～181m

——整　合——

中泥盆统东岗岭组：灰岩

（2）下石炭统大塘阶含矿岩系剖面（以桂北某锰矿为例）：

中石炭统大埔组白云质灰岩

——整　合——

下石炭统大塘阶——含矿岩系。

⑧含燧石结核厚层灰岩　5～20m

⑦含锰灰岩夹燧石透镜状碳酸锰　10～20m

⑥薄层灰岩夹硅质扁豆体　15m

⑤含锰灰岩　15m

④锰矿层：中厚层含锰灰岩夹碳酸锰矿层（4层，单层厚度为0.3～1.5m）　8～12m

③薄层灰岩与燧石灰岩互层（常可过渡为碳质页岩）　120m

②砂质页岩夹硅质页岩　141m

①深灰、灰黑色灰岩　95m

——整　合——

下石炭统岩关阶：砂质页岩及硅质页岩

（3）下二叠统孤峰组含矿岩系剖面（以桂东北某矿为例）：

上二叠统龙潭阶：上部为页岩，中部页岩夹长石砂岩并有煤线，下部页岩　150m

～～～不　整　合～～～

下二叠统孤峰组——含矿岩系　70m

Ⅲ硅质页岩，底部常有碳质页岩

Ⅱ页岩夹灰岩透镜体

Ⅰ页岩、粉砂岩夹含锰灰岩、含锰页岩

——整　合——

下二叠统栖霞阶：灰岩夹燧石结核及条带，底部有一层豆状铁质砂岩　100m

从上述三个剖面可以看出，本区各主要成矿时代锰矿的含矿岩系有很多一致的地方；锰矿一般沉积富集在海进岩序的中、下部；含矿岩系常独自代表一个低序次的沉积旋回；位于碎屑沉积岩与化学沉积岩相的过渡带，与硅质灰岩及硅质岩建造相伴生；含矿岩系中常有碳质页岩、碳质泥岩，而且常作为锰矿层或含锰岩层的顶底板。

（二）锰矿生成条件

1．古地理环境

加里东运动以后，广西进入了一个重要的造海时期，形成了广阔的广西海盆。相应地在泥盆纪到三叠纪出现了一次较大的海浸沉积旋回（见表4-2）。在晚泥盆世、早石炭世及早

二叠世晚期，本区的北部为江南古陆，东南部为云开山地，西南部为越北古陆，因而广西海盆处于半封闭状态。从图4-12可以看出，这几个时期的Mn矿主要沉积富集在广西海盆的陆缘

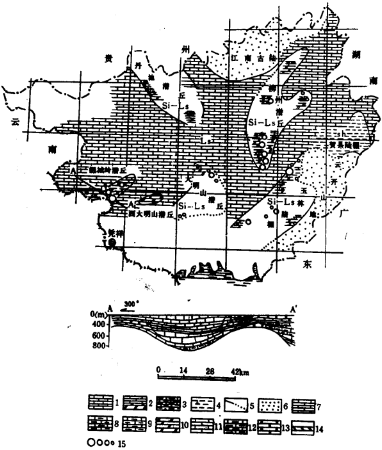


图4-12　广西晚泥盆世岩相古地理及矿产分布图

（据广西冶勘273队，1976）

1—碳酸盐岩相（Ls）；2—硅质岩扁豆状岩相（榴江组）（Si-Ls）；3—硅质页岩砂质页岩相（Sh）；4—可能海浸区；5—古陆界线及底砾岩；6—剥蚀区；7—灰岩；8—扁豆状灰岩；9—泥质灰岩；10—硅质岩；11—鲕状灰岩；12—硅质灰岩；13—白云岩、白云质灰岩；14—碳酸锰矿层；15—锰矿（大、中、小型矿床及矿点）

浅海潜丘、陆棚上，其次是浅海海脊和海峡区。晚泥盆世主要分布在泗城岭潜丘、柳州潜丘、大明山潜丘和玉林陆棚；早石炭世锰矿主要分布在丹池潜丘和大明山海脊（图4-13）；早二叠世晚期主要分布在钦州陆棚、柳州陆棚、平乐海峡和全州海峡(图4-14)。在晚泥盆世和早石炭世，广西海盆的浅海区宽广，稳定的陆缘潜丘与陆棚区的含锰建造为硅质灰岩或硅质岩，多形成沉积碳酸锰矿床。在早二叠世晚期，海盆浅海区变窄，主要分布在陆棚与海峡区的含锰建造则以硅质岩为主，未发现有较大的原生矿床，但可以为形成次生锰矿创造有利条件。

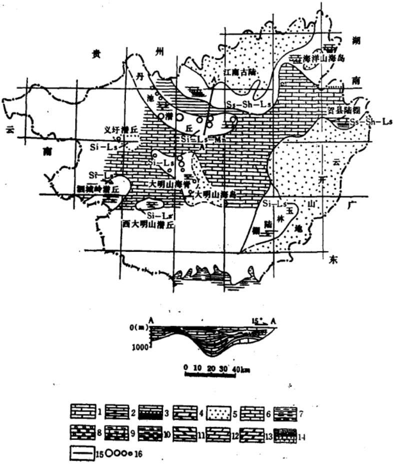


图4-13 广西早石炭世岩相古地理及矿产分布图

（据广西冶勘273队，1976）

1—碳酸盐岩相（Ls）；2—硅质岩灰岩相（Si-Ls）；3—砂质页岩灰岩相（Ss-Sh-Ls）；4—硅质岩、硅质灰岩、含锰灰岩相（Si-Ls-Mn）；5—剥蚀区；6—灰岩；7—砂质页岩；8—磷矿结核；9—泥质灰岩；10—泥岩；11—碳酸锰；12—泥灰岩；13—硅质岩；14—页岩、砂岩；15—煤层；16—Mn矿（大、中、小型矿床及矿点）

本区的上古生界主要锰矿层位，似有自南西北向东升高的趋向。

2。与构造体系的关系

本区发育东西向复杂构造带、华夏系—新华夏系和广西山字型等构造体系。它们的发生和发展，在时间和空间上控制了沉积建造以及与其伴生的外生矿产的分布。控制锰矿分布的各时代的陆缘浅海潜丘、陆棚、海脊、海峡的展布，常受成生过程中的东西复杂构造带及呈多字型展布的华夏系所控制。

例如晚泥盆世的泗城岭潜丘、大明山潜丘及早石炭世的大明山海脊，大致沿东西方向断续分布、属于东西构造带中的初期局部隆起地带；早石炭世的丹池潜丘亦大致作东 西 向分布，但其西段，逐渐转向北西，呈一狭长的弧形带状，反映东西复杂构造带与广西山字型西翼复合的形迹。

晚泥盆世的柳州潜丘、玉林陆棚及早二叠世晚期的钦州陆棚、柳州陆棚，呈NE或NNE

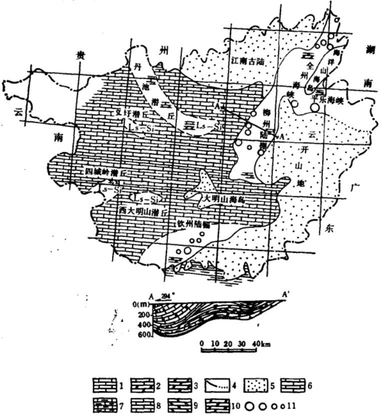


图4-14　广西早二叠世晚期岩相古地理及矿产分布图

（据广西冶勘273队，1976）

1—碳酸盐岩相（Ls）；2—硅质灰岩、硅质岩相（Ls-Si）；　3—硅质岩含锰灰岩相（Si-Mn）；4—古陆界线；5—剥蚀区；　6—灰岩；　7—泥灰岩；　8—含燧石灰岩；9—含锰灰岩；10—硅质岩；11—Mn矿（大、中、小型锰矿床或矿点）

向的多字型展布，与华夏系有着密切的潜在联系。其中柳州潜丘及陆棚南段呈NNE向，北段有向东偏转的趋势，看来与广西山字型或南北向构造的复合有关。

早二叠世的平乐海峡，大致作东西向分布，和东西向复杂构造带与弧顶朝西的桂林弧型南翼的复合部位相吻合。

总之，本区东西复杂构造带隆起带的外侧及华夏系沉降带是沉积锰矿的重要场所，锰矿床分布受成生过程中的东西复杂构造带局部隆起和呈多字型展布的NE向华夏系 潜 丘、陆棚等控制。

3．表生成矿作用

沉积碳酸锰矿床和含锰岩系经过长期的风化作用，这是形成残积（锰帽）、淋积和堆积矿床的根本条件。在表生成矿作用过程中，构造、地貌和气候条件影响很大。向斜或开阔背斜两翼、构造断裂发育的地区，有利于保存矿体或形成残积、淋积矿床；剥蚀中低山丘陵地区的平缓山包和山坡，有利形成堆积、淋积矿床；覆盖层薄、含矿层倾向和山坡一致的，有利形

成深度较大的锰帽矿床；桂东南、桂南降雨量最多的地区也是次生锰矿的主要分布区，区内年降雨量最大的华荣山一带，在海拔500m的中高山也形成了深度较大的淋积矿床；地处亚热带，湿热气候是使风化矿床占全区锰矿储量近一半的重要原因。

（三）本区主要矿床类型及伴生的有益组分

1．锰矿的矿床类型

按成因可分浅海沉积型矿床及与沉积矿床或含锰岩系有关的风化矿床；按工业类型可分浅海沉积锰矿床、锰帽硬锰矿床-软锰矿矿床、锰帽偏锰酸矿矿床、淋积氧化锰矿床及堆积氧化锰矿床五类。各类矿床的主要地质特征见表4-3。

表 4-3　各类锰矿床的主要地质特征

矿床类型		含矿层及成矿作用	产状及形态	主要矿物	品位（%）	矿石结构构造	规模及评价
成因类型	工业类型						
浅海沉积矿床	沉积碳酸锰矿床	榴江组、岩关、大塘阶浅海潜丘沉积。多富集在海进旋回的中下部，碎屑沉积与化学沉积的过渡带	产于硅质灰岩、泥质灰岩及夹燧石条带的薄层灰岩中，呈层状及透镜状	菱铁矿 钙菱锰矿 锰方解石	Mn 17～23 Fe 0.8～8 SiO_2 8～27 P 0.08～0.18	微层状、条带状、致密块状、显微粒状等	大型、中型，占全区总储量1/2以上，主要为冶金锰
风化矿床	锰帽软锰矿硬锰矿矿床	沉积碳酸锰矿床经第四纪氧化残积富集	产于碳酸锰矿体之地表或浅部的氧化带，呈层状、透镜状	硬锰矿 软锰矿	Mn 25～40 Fe 8～10 SiO_2 8～20 P 0.1～0.6	网格状、块状、胶状、薄片状等	中、小型，占总储量1/7左右，大都为优质富锰，可作化工、电池用锰
	锰帽偏锰酸矿矿床（"松软锰"）	同上	同上	偏锰酸矿	Mn 20～40 Fe 3～10 SiO_2 33～41 P 0.04～0.09	松软块状、疏松土状，夹少量软锰矿块及矿粉	大、中型、占总储量1/6左右，为冶金锰
	淋积氧化锰矿床	碳酸锰矿床及含锰岩系经次生淋滤富集	呈脉状、团块状、零星块状，产于原岩风化层及第四系松散层中，矿体形态不规则	硬锰矿 软锰矿 褐铁矿	Mn 15～50 Fe 0.2～12 SiO_2 5～40 P 0.03～0.8	致密块状、胶状、片状、不规则块状、粉砂状、结核状等	中、小型，主要为化工、电池锰
	堆积氧化锰矿床	各时代含锰层经风化残余堆积；锰帽及淋积矿床经破碎堆积	产于第四系松散层中，呈似层状、透镜状、囊状，形态不规则，矿石块度大小不一	硬锰矿 软锰矿 褐铁矿	Mn 20～35 Fe 6～20 SiO_2 10～20 P 0.02～0.1	致密块状、不规则块状、胶状、碎屑状、结核状等	大、中、小型，占总储量1/5左右一般为冶金锰，少量铁锰矿

（据广西冶勘273队，1976）

2．矿石中Co、Ni伴生组分的分布特点及其综合利用价值

各类矿床中普遍含Co、Ni等元素。据初步研究，Co、Ni与浅海相硅质胶体溶液的沉积有密切关系，在钙质沉积区则显著降低。钴镍的富集可能是和锰的胶体溶液的吸附有关，因此，产出于氧化锰中；从时代上看，含锰层位越新的硅质岩建造中钴镍含量较高，在其次生氧化锰中富集，特别富集于锂硬锰矿矿石中。据目前初步查明，Co、Ni主要赋存在孤峰组和西湾群次生锰矿中，预测规模较大，经探索性试验，可为工业利用。

（四）对矿床成因的初步探讨

加里东运动使广西进入一个隆起的剥蚀期，经历了长期的风化、剥蚀和堆积阶段。加里东运动以后，广西又进入了一个重要的造海时期，在江南古陆、越北古陆和云开山地之间，形成一个半封闭的海盆，大量的风化壳为海盆提供了包括锰矿在内的丰富的物质来源。这是从泥盆纪到三叠纪沉积旋回中形成本区最重要的锰矿床的主要因素之一。

锰是在氧化条件下稳定、还原条件下活动的元素，在其由于风化、剥蚀作用而脱离母岩之后，在地表条件下不可能呈溶液状态进行远距离搬运，而只能以悬浮状为主被地表迳流带入海盆的陆缘地带。在这个阶段中，由于机械掺合作用的参与，锰多趋向分散，不易富集成有意义的矿床。但是，这些陆源物质在常温、常压下，在太阳的光和热以及生物等影响下，可逐步被风化，形成陆源风化壳和沉积风化壳。所以陆源风化壳及沉积风化壳的存在，是形成锰矿床的一个关键的潜在因素。再根据本区沉积锰矿或含锰岩系主要为化学沉积的碳酸锰和胶体沉积的含锰硅质岩来看，在成矿前必然要有一个转化过程。

从本区锰矿主要沉积在陆缘浅海潜丘、陆棚上，富集于海进岩序的中、下部，位于碎屑沉积岩相和化学沉积岩相的过渡带上，各成矿时代的含矿岩系常独自代表一个沉积旋回，以及矿层常以富含有机质的碳质页岩、碳质泥岩作为顶、底板等特点来看，可以认为，在氧化条件下形成的陆源风化壳和沉积风化壳，在海侵初期逐渐为海水所淹没，使海底成了缺氧的还原环境，在有机质菌解及低温高压的物理化学条件下，锰质被大量溶解，为海水所吸取，并逐步富集在海盆底水中。经过积累和富集，可使锰质在底水中达到很高的浓度。这些含有很高浓度锰质的底水，由于盆地中海流机制的变化，常向海盆的浅部运移，在浅海海盆中硅质、碳质岩相广泛分布的潜丘、海脊、陆棚或海峡区淀积，形成有意义的碳酸锰矿床或含锰岩系。这些锰矿床或含锰岩系，在其由于地壳运动而上升、暴露地表以后，遭受长期的风化，可进一步富集形成更有现实意义的次生矿床。

（五）成矿区划及成矿预测

由于本区沉积锰矿的分布具有一定的层位和含矿岩系，并受成生过程中的东西复杂构造带局部隆起和呈多字型展布的华夏系北东向潜丘、陆棚等控制，因而具有明显的成带性和区域性，规模较大的沉积碳酸锰矿床及广泛分布的含锰岩系，是形成次生氧化锰矿床的一个先决条件。因此，含锰层位、岩相、古地理及氧化富集条件是今后普查找矿的重要依据。根据现有资料，本区沉积锰矿可大致划分为6个成矿区或成矿带，作为今后的找矿方向（图4-15）。

（1）南丹-宜山成矿带　位于东西构造带北隆起带南侧，早石炭世丹池潜丘上，是区内重要的、有远景的沉积碳酸锰及氧化锰成矿带。

（2）桂南成矿区　位于东西构造带南隆起带的西段，德保山字型东翼反射弧内弯，分布范围与晚泥盆世和中晚三叠世泗城岭潜丘相吻合，是区内最重要的沉积碳酸锰矿床及氧化锰矿床的成矿区。

（3）桂中成矿区　位于东西构造带、南北隆起带间的沉降带中，广西山字型与南北向构造带的复合地带，晚泥盆世柳州潜丘及早二叠世晚期柳州陆棚上。未发现较大的原生矿床，是次生锰矿分布的重要地区。

（4）桂东南成矿带　位于呈北东向展布的华夏系钦州-平南凹陷带内，分布范围与晚泥盆世玉林陆棚、早二叠世晚期钦州陆棚吻合，是区内重要的次生氧化锰成矿带。

（5）大明山西侧成矿区　位于东西构造带南隆起带中段与广西山字型前弧西翼南端的

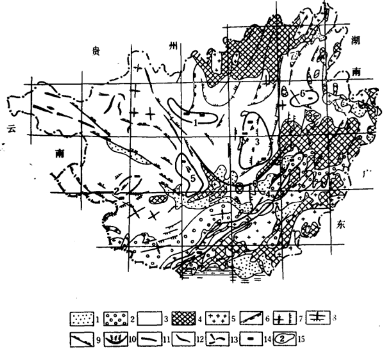


图 4-15 广西锰矿成矿区划简图

（据广西冶勘273队，1976）

1—新生代沉积洼地；2—侏罗-白垩纪构造盆地；3—泥盆-三叠纪构造层；4—太古界-志留纪构造层；5—花岗岩；6—华夏-新华夏系构造；7—南北向构造；8—东西带构造；9—右江系构造；10—山字型构造；11—弧状构造；12—S状构造；13—旋转构造；14—锰矿区；15—锰矿成矿区（带）及编号

复合地带，含锰岩系的分布范围与晚泥盆世大明山潜丘、早石炭世大明山海脊相吻合。未发现较大的原生矿床，但含锰岩系风化后可形成次生矿床。

（6）**荔蒲-平乐成矿带** 位于东西构造带与桂林弧复合沉降带中，分布范围与早二叠世晚期平乐海峡相吻合。原生锰矿意义不大，但可形成工业意义较大的次生锰矿床。

（六）结 语

（1）在时间分布上，广西沉积锰矿大致可划分为震旦纪到奥陶纪、泥盆纪到三叠纪、侏罗纪等三个成矿周期。其中以泥盆纪到三叠纪成矿周期为最重要，并以晚泥盆世(榴江组)、早石炭世（岩关、大塘阶）、早二叠世晚期（孤峰组）为主。

（2）在空间分布上，锰矿的形成受区内成生过程中的东西构造带、广西“山”字型和呈多字型展布的华夏系等初期构造所控制的陆缘潜丘、陆棚上，具有明显的区域性和成带性，含锰层位似有自南向北、从西向东升高的趋势。

（3）锰矿一般沉积富集在海进沉积岩序的中、下部，碎屑沉积岩相和化学沉积岩相的过渡带；含矿岩系常独自代表一个低序次的沉积旋回。锰矿层产于硅质灰岩和硅质岩建造中，常以碳质页岩、碳质泥岩作为顶底板。

（4）锰矿床按成因可分为沉积矿床和风化矿床两大类；按工业利用可分为沉积碳酸锰矿床，锰帽硬锰矿、软锰矿矿床，锰帽偏锰酸矿矿床，淋积氧化锰矿床，堆积氧化锰矿床等

五个类型。其中以沉积碳酸锰矿床储量最大；残积、淋积和堆积的风化矿床氧化锰矿石是目前的主要开采对象；化工锰、电池锰主要富集在锰帽硬锰矿、软锰矿矿床和淋积氧化锰矿床中；各类矿床中普遍含Co、Ni等元素，特别是在孤峰组、西湾群含锰硅质岩有关的风化矿床中，富集在锂硬锰矿中，含量较高，有综合利用价值。

（5）沉积锰矿床的成因，初步认为是在海盆中陆源风化壳和沉积风化壳被溶解，锰质为海水所吸收，并逐步积累、富集海盆底水中，向海盆地的浅部运移，当其达到很高的浓度时沉积成矿。

二、云南铁矿成矿规律和成矿预测

云南铁矿类型多分布广，在系统收集资料的基础上，本节试图用板块构造观点，对云南地壳演化和铁矿成矿规律、成矿预测提出一些粗浅看法，也许对开阔视域、扩大找矿思路，能起到一些有益的作用。

（一）云南主要铁矿类型及其分布概况

据统计，云南铁矿床（点）有数百处，总储量几十亿吨，其中富矿占18.3%，成因类型可划分为7大类18亚类（表4-4）。

表4-4 云南铁矿成因类型及储量比例表

（据云南冶勘公司研究所，1979）

矿床类型	亚类	实例	矿床(点)数			总储量		富矿储量	
			矿床(点)数	占全省之比%	图解 10 20 30	占全省之比%	图解 25 30	占全省之比%	图解 25 30
全省总计			609	100		100		100	
火山岩型	红山群海相火山喷溢沉积变质铁铜矿床	大红山	24	4.0		65.4		54.8	
	昆阳群因民组海相火山碎屑沉积变质铁矿床	鹅头厂 笔架山							
	上古生界矽卡岩化火山沉积变质铁矿床	大勐龙							
	元古界至下寒武统海相火山沉积变质铁矿床	惠民 定西							
沉积型	浅海相沉积铁矿床	鱼子甸	143	23.4		21.7		3.7	
	海陆交相及内陆湖相沉积铁矿床	倘塘							
	沼泽相沉积铁矿	越州							
沉积变质型	昆阳群沉积变质—改造铁矿床	鲁奎山 军哨	54	3.9		8.1		13.6	
	晚古生－早中生界沉积变质	庆福							
	哀牢山群沉积变质铁矿床	棉花地							
次生风化型	堆积，残坡积铁矿床	牛首山	121	19.9		6.0		7.6	
	风化淋滤铁矿床	马鞍山							
	铁帽矿床	龙潭							
“热液”型	“热液”型铁矿床	王家滩	187	30.7		5.9		12.5	
接触交代矽卡岩型	与中酸性岩浆有关	滇滩	28	4.6		2.8		7.8	
	与基性岩浆岩有关	板仑							
	与碱性岩浆岩有关	乱硐山							
岩浆岩型	岩浆岩型铁矿床	脚底坪	3	0.5		0.1		–	
成因不明			49	8.0		–		–	

从成因类型上看，火山岩型铁矿最重要，其次是沉积变质型、热液型、矽卡岩型。从空间上看，滇中地轴上铁矿最多，其次是滇西。从时间上看，前震旦纪的储量比例最大，如果矽卡岩型铁矿床是有层位的话，晚古生代至中生代的储量将占第二位。

（二）云南地壳的演化和铁矿成矿带的划分

1．各地质时期板块构造发展概述

根据沉积建造、岩浆侵入、火山活动、变质作用和成矿特征的演化与发展，初步认为云南属海沟-岛弧系。

现将各地质时期板块构造概貌分述如下：

（1）晋宁期　消亡带由四川龙门大地槽、金河菁河断裂呈NE—SW向延入本省，至洱海一带转折东南，沿哀牢山断裂延入越南境。其西为青藏滇板块；以东为扬子板块（图4-16）。主要板块构造单位由北消亡带向东有元谋新平岛弧（主火山弧）、因民海槽、昆阳古岛。按昆阳群三分和地层展布来看，早昆阳期海侵范围达到石屏建水一带，中期（因民期）逐渐缩小，晚期只剩下东川至江边一带，昆阳古岛随之扩大形成康滇古陆。总的来看，海槽经历了逐渐变狭，盐化程度日趋增高的过程，沉积了厚逾万米的复理式建造、碳酸盐建造。有三次主火山旋回和追随于后的次火山和岩浆侵入活动。这段时期，分布于元谋新平古岛弧东侧的有大红山、拉拉厂式火山喷溢沉积铁铜矿床，在因民海槽中分布有鲁奎山式沉积变质矿床，王家滩式热液矿床和鹅头厂、笔架山式火山碎屑沉积矿床、希矿山式远火山沉积矿床和包子铺式沉积矿床。

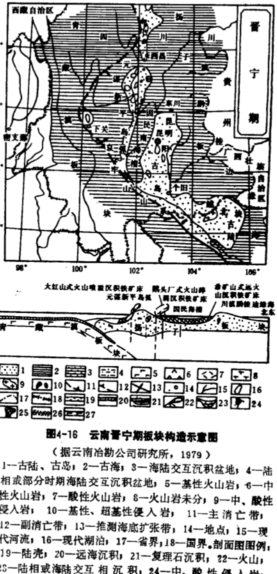


图4-16　云南晋宁期板块构造示意图

（据云南冶勘公司研究所，1979）

1—古陆、古岛；2—古海；3—海陆交互沉积盆地；4—陆相或部分时期海陆交互沉积盆地；5—基性火山岩；6—中性火山岩；7—酸性火山岩；8—火山岩未分；9—中、酸性侵入岩；10—基性、超基性侵入岩；11—主消亡带；12—副消亡带；13—推测海底扩张带；14—地点；15—现代河流；16—现代湖泊；17—省界；18—国界。剖面图图例：19—陆壳；20—远海沉积；21—复理石沉积；22—火山；23—陆相或海陆交互相沉积；24—中、酸性侵入岩；25—基性、超基性岩；26—铁矿；27—洋壳

晚元古代至早寒武世时期海沟西移，沿苍山、哀牢山、崇山、澜沧古海沟均沉积了厚8000～10000m的碎屑复理石地槽相沉积，间夹碳酸盐相、硅质岩和基性火山岩分布地段往往有火山沉积变质铁矿床相伴（惠民式）。

（2）加里东期　加里东期随海沟（消亡带）西迁，主火山弧也由原来的元谋新平一线

向西挪动，根据同位素年龄值为349Ma之平河岩体和腾冲海湾中的火山活动（？），腾冲岛弧为主火山弧，滇缅海槽具边缘海性质，包括澜沧岛弧在内的哀牢山山系应属海岸山脉，昆阳古岛扩大形成之康滇古陆已具大陆形式。包括康滇古陆组成的扬子板块，在云南境内还有滇黔桂边缘海。

加里东早期（元古代—加里东早期），有处于海岸山脉旁侧的海相火山沉积矿床（惠民式）产出；加里东早期和末期在滇黔桂边缘海有沉积铁矿床分布（阳景山式和鱼子甸式）。

（3）华力西期　晚华力西期云南境内普遍有玄武岩浆喷发，青藏滇板块上具海相拉斑玄武岩性质，陆壳随之洋壳化，滇西海槽发生陆间裂谷性质的张裂。

华力西期主消亡带分布于我国西藏境内之丁青、察隅和缅甸境内之密支那一带，往东依次分布有腾冲岛弧（前弧）、滇缅海槽（前缘海）、澜沧岛弧（主火山弧）、具陆间裂谷性质的滇西海槽（边缘海）、昌都苍山岛弧和哀牢山山系（海岸山脉）、川滇边缘海（后期发展为前陆盆地）、康滇古陆和川黔滇桂边缘带（图4-17）。在滇西海槽中北部德钦、中甸和南部景洪一带石炭、二叠纪发育有海底火山喷发细碧角斑岩系，海槽两侧均有超基性、基性岩（蛇绿岩套）断续分布，因而沿苍山哀牢山和澜沧江一线为滇西海槽扩张的二潜没带。于扬子板块上还可见到，由西往东由深成相橄榄辉长岩到滇中浅成相辉绿岩，而滇东北高原玄武岩有规律的分布。

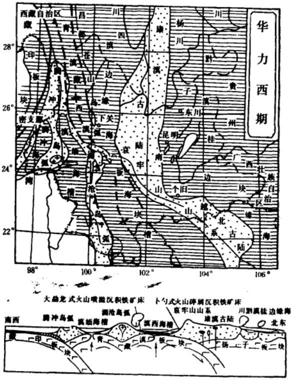


图4-17　云南华力西期板块构造示意图

（据云南省冶金地质勘探公司研究所，1979）

图例同图4-16

本期沿滇西海槽两侧有火山喷溢细碧角斑岩建造铁矿床（大勐龙式）和火山碎屑沉积铁矿床（卜勺式）发育；在川滇黔桂边缘海西岸海湾中有地台型滨海-浅海或海陆交互沼泽相沉积铁矿的分布。

（4）印支期　印支期云南地壳又向陆壳转化，构造格局与海西期相似。主火山弧仍沿澜沧岛弧，主消亡带仍沿丁青密支那一线，并有蛇绿岩套分布。滇西海槽德钦、维西一带首先隆起，海域交狭，盐化程度加高，并有膏盐层分布。青海玉树、西藏江达和云南之澜沧江流域的云县、绿春、元阳等地段有海相安山岩和陆相安山岩、流纹岩喷发沉积。

本期于滇西海槽中有远火山浅海-滨海相沉积菱铁矿（维西式）形成。鉴于西藏青海境内沿通天河金沙江一线海相安山质火山岩带，加多岭有与闪长玢岩次火山有关的含磷灰石磁铁矿床形成，沿海槽两侧三叠纪火山岩分布地区寻找此类矿床是有希望的。

（5）燕山期　本期主消亡带已西移至缅甸境之莫罕，温佐以西地区，北延与我国西藏

境内之雅鲁藏布江地缝合线相接，其间为达旺林芝左行断裂（转换断层性质）错移，这一新的构造格局一直持续到喜马拉雅期。

随消亡带西迁，主火山孤迁移至察隅腾冲山地一带。沿贡山腾冲和澜沧江岛弧岩浆活动强烈。滇缅海湾和滇西海槽仍具边缘海性质，但随古地中海海水向西北和东南方向退却，出现海陆交互相和潟湖相卵盐层、膏盐层。沿苍山哀牢山副消亡带于燕山末期和喜马拉雅期形成高压低温和低压高温双变质带，仰冲盘还有中酸性岩浆活动和超基性-基性岩侵位，滇中、四川等前陆和内陆盆地以及青藏川滇高原形成，扬子板块隆起成陆，现代地貌雏形已具。

本期在察隅腾冲山地有花岗岩侵入并有矽卡岩铁矿形成（滇滩式）。而本期的岩浆活动亦使部分先成铁矿得以叠加富化。

喜马拉雅期藏印板块与欧亚板块再次相撞，形成横断山脉、云贵高原，在少数内陆沼泽湖盆中有小型铁矿形成。

2。铁矿成矿带的划分

云南铁矿成矿带的划分依据如下：

（1）区域地史发展特点和古地理、古板块、古构造部位　这是划分铁矿成矿带的首要因素。由上节简述可以看出，古板块构造的演化控制了其它诸地质因素的发展，同时也制约了不同类型铁矿床时空分布的规律。

（2）控矿地质因素　例如沉积建造、火山活动、岩浆侵入、变质作用、控矿构造等各种地质因素的特征。

（3）成矿作用特征　不同成因类型铁矿床的产出、分布、时代和相互关系、主次关系等。

（4）矿带空间展布方式　矿带的产出和邻国、邻省以及其它矿种矿带的关系。

根据上述并考虑平面展布形态，划分出铁矿成矿带（区）十个（图4-18）：

3。重要铁矿带分布规律和找矿设想

（1）滇滩-瑞丽成矿带　地处本省西南隅，属印度板块和欧亚板块缝合线之东侧，藏滇歹字型构造西支，高黎贡山变质带。矿带位于腾冲海湾中，长期属地槽区。矿带属滇缅铁矿带的一部分，该带长600km以上，省内160km。主要矿床计有滇滩、铁窑山、勐来和缅甸境内之东枝、敦艺等，以矽卡岩型铁矿为主。成矿控制因素主要有：①奥陶-志留系碎屑

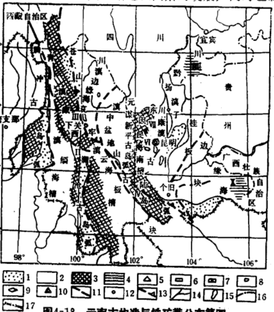


图4-18　云南古构造与铁矿带分布简图

（据云南省冶金地质勘探公司研究所，1979）

1—古陆，古岛；2—古海；3—铁矿成矿带；4—铁矿成矿区；代表性矿床：5—火山岩型；6—沉积型；7—沉积变质型；8—次生风化型；9—“热液”型；10—接触交代矽卡岩型；11—主要深大断裂；12—地名；13—多期活动消亡带；14—现代河流；15—现代湖泊；16—省界；17—国界；Ⅰ．滇滩-瑞丽成矿带；Ⅱ．漕涧-惠民成矿带；Ⅲ．维西-大勐龙成矿带；Ⅳ．卜勺-棉花地成矿带；Ⅴ．姜驿-大红山成矿带；Ⅵ．滇中铁铜成矿带；Ⅶ．鱼子甸成矿区；Ⅷ．寸田成矿区；Ⅸ．牛首山成矿区；Ⅹ．富宁成矿区

岩与石炭、二叠系碳酸盐岩地层接触面附近；②燕山早期花岗岩接触带，空间上与马来亚锡矿带西亚带（燕山亚带）相辅而行；③滇西帚状构造收敛部位。

（2）漕涧-惠民成矿带　澜沧古岛弧西侧，藏滇歹字型构造东支，澜沧江变质带，地史上是个长期隆起区。主要矿床计有分水岭、中和、惠民、西定和泰国北柳府之农波，皆为产于老变质岩系中之火山沉积变质或沉积变质铁矿床。主要成矿控制因素为：①澜沧群、崇山群老变质岩系；②变质岩系中之火山岩；③空间上与马来亚锡矿带东亚带（印支亚带）一致；④构造体系复合部位。

（3）维西-大勐龙成矿带　分布于澜沧岛弧东侧，滇西海槽西岸。藏滇歹字型构造东支，兰坪-思茅凹陷，为负性构造单位。与前一成矿带合称三江铁矿带，从西藏经云南至泰国，绵延2000km，云南境内长800km。矿带中主要矿床计有唐古拉山一带、江达一带（以上在西藏）、红山、庆福、大勐龙、新山等，以远火山沉积变质型菱铁矿床和矽卡岩叠加富化的火山沉积变质型磁铁矿床为主。成矿控制因素主要是：①三个含矿层位，即上古生界细碧角斑岩、基性火山岩浅变质岩系、上古生界至中生界上二叠统、三叠系和中侏罗统；②与火山岩具有成因或空间分布关系；③维西式菱铁矿常形成于古海槽变狭、盐化程度增高部位；④中酸性侵入岩和旋扭构造对大勐龙式矿床有加富和改造作用。

滇西除上述三个成矿带外，尚有卜勺—棉花地成矿带，延入越南统称为红河铁矿带，包括卜勺、昆岗、太平寨、棉花地（及越境内之勒村、朗美等）火山沉积变质矿床（晚古生代浅变质带）和沉积变质矿床（晚元古代至早寒武纪哀牢山深变质带）。

滇西地块曾发生过张裂和漂移，由此控制了古构造、古地理的变迁以及火成、变质和成矿作用的发生和演化，弄清这些地质事件的始末对于预测找矿有重大意义。

（4）滇中铁铜成矿带　地处滇中呈南北向，北延入川境，南抵达红河，合称川滇铁铜矿带。全长600km，省内长250—300km，宽50—100km。铁矿总储量占全省储量的16.1%，富矿储量占35%。大地构造上属康滇古陆或康滇地轴，构造体系为川滇经向构造带和南岭纬向构造带（延至省内分五个亚带）、云南山字型构造和新华夏构造的复合部位。

滇中铁铜矿带上主要分布为昆阳群地层，按三分划法大体如下：

上覆震旦系古生界或中生界
上昆阳群（6200～9680m）
　　麻地组
　　小河口组　夹基性火山岩、细碧角斑岩
　　大营盘组　含铁层位，如包子铺铁矿
～～～～～　满银沟运动　～～～～～
中昆阳群（2405～4635m）
　　绿汁江组
　　鹅头厂组
　　落雪组
　　因民组　含铁层位，如鹅头厂、稀矿山铁矿。夹碱基、碱中性火山碎屑岩。
～～～～～　东川运动　～～～～～
下昆阳群（2532～6700m）
　　美党组
　　大龙口组　含铁层位，如军哨，鲁奎山铁矿
　　黑山头组　含铁层位，如王家滩铁矿
　　黄草岭组
……………　顶部夹中性安山凝灰岩　……………
下伏层位不清

主要有四个含铁层位和三个火山旋回。矿床类型主要有三种：即火山岩型、沉积变质或改造型、“热液”型。主要控矿因素有：①各类矿床均属层控矿床，分布与地层大层相一致，且都经受变质或改造。②古地理属滨海到浅海、碎屑岩到碳酸盐岩的过渡条件，但铁较铜来说更趋于氧化的环境。③火山岩成因或与火山矿质供应相联系，铁铜矿床有随岛弧火山相带呈规律分布的特点。④多数矿田均分布于经向构造带和纬向构造带交切部位，扭动构造带常为具体的控矿构造。⑤某些与辉绿岩脉空间共生的脉状铁矿，似为追随主火山旋回之后的次火山产物，其成因关系尚待查明。云南两个重要的火山岩型铁矿——大红山铁矿和鹅头厂铁矿，其含矿层位可以对比，可能属同时异相的产物。

如图4-19，滇中铁铜成矿带的大红山、姜驿、拉拉厂同属火山喷溢沉积矿带，分布于西侧；鹅头厂、迤纳厂、笔架山、新铺子等矿床属火山碎屑沉积矿带，居于中部；希矿山远火山沉积矿床位于东侧。结合这一空间规律，在找矿实践中可以期望在各矿带中寻找相应类型矿床；矿带间寻找过渡类型矿床；并在已知矿床向深部寻找可能遗漏的矿种和矿体。

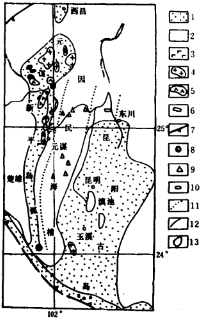


图4-19　因民期铁矿带分布与古构造关系

（据云南省冶金地质勘探公司研究所，1979）

1—古陆、古岛；2—古海；3—火山熔岩喷溢地段；4—花岗岩侵入体；5—闪长岩或花岗闪长岩侵入体；6—辉长岩或橄榄岩侵入体；7—推测古消亡带；8—火山喷溢沉积铁铜矿床(点)；9—火山碎屑沉积铁(铜)矿床(点)；10—远火山沉积铁铜矿床（点）；11—矿带分界；12—现代河流；13—现代湖泊

（三）云南铁矿成矿规律和成矿预测

根据上述云南地壳演化特征和铁矿带分布特点，对云南铁矿成矿规律有如下初步认识：

（1）云南古构造应属海沟-岛弧系。特征可归纳为一线（苍山—哀牢山多期活动缝合线）、二块、（青藏滇和扬子二板块）、三带（高黎贡山、崇山—澜沧、苍山—哀牢山三变质带）、四弧（腾冲、澜沧、苍山—哀牢山、元谋—新平四岛弧）。云南地壳经历了洋壳—陆壳—洋壳（化）—陆壳的历史转化和挤压—张裂—挤压的构造发展，由此制约了沉积建造、火山活动、岩浆侵入、变质作用和铁矿的生成。空间展布上古岛成弧、火山成链、铁矿成带。

（2）铁矿多形成于巨型藏滇“歹”字型构造、南岭纬向构造、三江和川滇经向构造的复合交接部位，扭动构造对于矿田的控制和矿床的改造具有重要意义。

（3）铁矿的形成，火山作用具有特殊意义。铁矿带空间分布常傍依古火山岛弧相辅而行；时间上重要成铁期常追随地史上主要火山活动形成之后。从火山岛弧向外：火山喷溢、火山碎屑、远火山沉积铁矿依次展布；与岛弧造山后期中酸性岩浆侵入有关的矿床，常按Fe、Cu（矽卡岩型）、Sn、W、Pb-Zn、Sb-Hg次第分出。

（4）随地史发展，洋壳转化，挤张交替和与之伴生的火成活动、变质作用、成矿期幕多次发生，导致铁矿多种成因、多期成矿、多次叠加和后期富化的特点。

（5）结合其它地质条件、对基性、超基性岩有关的内生铁矿说来：m/f（镁铁比值）

0.6～2.0、m/s（镁硅比值）0.16～0.06和Ti原子数＞20；对中酸性侵入岩有关的矽卡岩铁矿说来：K_2O+Na_2O（总碱量）＞7～7.5%、$Fe^{3+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$（即氧化系数）＞0.5的弱氧化环境、$Na_2O/(K_2O+Na_2O)$（即钠化系数）从岩体中心向边部增高等特征指数，是判别对形成铁矿是否有利的岩石的重要标志。

(6) 沉积铁矿往往形成于海侵初期的海槽和海湾中，处于碎屑岩组合向碳酸盐岩组合、氧化环境向还原环境、滨海相潟湖相向浅海相的过渡带上。具有充足的火山物屑的多方陆屑供应来源是形成铁矿的外部条件；剖面上往往出现盐层，矿石类型从浅部向深部由褐铁矿、赤铁矿向菱铁矿的转变是形成铁矿内部因素的反映。受层位控制的原生菱铁矿应引起充分重视。

就前述认识出发，在铁矿的预测中主要考虑以下原则：

(1) 充分把握住地质事件演化发展遗留在地层柱子上的记录，除含铁层位本身的特征外，上下盘地层反映了成矿条件演化的烙印，即所谓"层控成矿观点"。例如下部地层有火山岩层、上部围岩具膏盐层次等都是有利于形成铁矿的地质条件，预测区应该放在这些含铁层位和有利于形成铁矿的岩石出露的地区。

(2) 在肯定了属海沟—岛弧体系之后，如何以充分证据重塑主火山弧的空间位置十分重要。往往火山岛弧的内侧可以依次发育与不同火山相带相联系的铁矿床；而边缘海中又有远火山的沉积铁矿生成，即所谓"板块构造-火山成矿观点"。如此，预测区应该放在主火山岛弧两侧和内缘地区。

(3) 在地质历史上的长河中考虑地壳演化、火山活动、岩浆侵入、变质作用，构造复合对于先成贫矿的改造、叠加和富化，即所谓"多次叠加成矿观点"。预测区应该放在那些地史上有利于形成铁矿的地质事件一再发生的地区。

(4) 已知矿床（点）聚集、具有有利找矿标志和物探异常的地区是拟定预测区的重要根据。

上述预测原则，乃就目前认为重要的而言，远非全部。通过比较，对全省划分出10个铁矿成矿带（区），筛选出21个铁矿远景预测区和11个后备点（后者系未达远景区标准而又有一定的找矿线索和成矿条件的地点），从而为铁矿普查指明了方向，为找铁工作部署提供了科学依据。

参考文献

[1]广西冶金勘探公司273地质队，1976，广西锰矿与成矿预测。地质科技，第3期。

[2]云南冶金地质勘探公司地质研究所编图组，1979，云南地壳的演化和铁矿成矿规律。地质与勘探，第2期。

[3]苏季生，1983，区域地球化学分带特征与成矿预测。地质与勘探，第5期。

[4]欧阳宗圻，1983，成矿区（带）化探普查工作中的几个问题。地质与勘探，第1期

[5]张尔匡，1982，河北省深部地质构造特征与区域成矿规律相互关系的初步研究。矿床地质，第1卷第1期。

[6]姜齐节、梅友松，1982，我国大陆中东部基底地层成分分区与金属成矿分区。地质与勘探，第5期。

[7]梅友松，1981，深部地质与金属矿床的关系。地质与勘探，第3期。

[8]谢学锦，1979，区域化探。地质出版社。

第五章　矿区成矿预测

第一节　矿区成矿预测的特点、依据和意义

矿区成矿预测是在区域地质、矿床地质及含矿区段成矿规律研究的基础上，运用适合研究区（段）实际情况的理论，采用合理、有效的途径、方法和手段，对研究区段可能存在的矿床或矿体进行定性或定量的预测评价。

一、矿区成矿预测的特点

（1）矿区成矿预测是大比例尺或小范围的矿产预测，通常是在含矿远景区内的局部地段进行的，所以又称为局部性成矿预测。一般是在几至几百平方公里范围内，开展1∶5万或更大比例尺的地质研究和评价工作。

（2）矿区成矿预测是在工作程度较高的地区，研究和总结该矿区的成矿规律，用以指导矿区内及外围的矿产预测，以便发现新的矿床或矿体。当然，不能忽视区域地质特征的研究，因为只有全面地掌握了区域地质背景以后，才能有效地搞好矿区成矿预测。

（3）矿区成矿预测是一项战术性的地质工作，要求为矿区及其外围探寻隐伏矿床或矿体提供科学依据，具体指导找矿勘探实践，有时需要具体指导施工。

（4）矿区成矿预测是综合性和探索性很强的研究课题，既包括基础地质理论，又要应用新技术新方法，才能加深对地质体的认识，达到预测矿产的目的。当前，正处在不断探索的阶段，并逐渐走向系统化和理论化。

概括地说，矿区成矿预测具有“多、广、细、深”的特点。“多”：基础地质资料比较丰富，可以掌握和获取的信息多；“广”：需要综合考虑的因素广；“细”：研究课题具体、细致，难度较大，必须调用多种手段和方法，方能奏效；“深”：指研究程度和预测的空间范围要求深。

二、矿区成矿预测的依据

科学的预测应当以科学理论为指导。成矿地质作用有它的共性，这种共性就是我们进行预测的依据。含矿地段成矿规律的研究则是进行矿产预测的理论基础。由于矿化作用还受一些局部特殊因素和大量随机因素的影响，在从事矿产预测时，只有将成矿地质作用的共性（一般的结论或理论）与研究地段的具体地质情况结合起来分析，才能得到符合或近似符合客观实际的正确认识。因此，矿区预测研究的主要内容应当侧重成矿作用的特殊性。

为了使矿产预测能够有效地进行，必须综合分析与成矿有关的控矿因素，诸如构造、岩浆、岩相古地理、地层、岩石特征等等，它们能够提供成矿的可能性；还必须把握能够说明矿产存在的地球物理、地球化学、矿物标型及其它矿化信息，以便预测矿产赋存的具体情况。

国内外许多矿区成矿预测的成功经验已经证明：矿床分布的方向性、等距性、对称性、

矿床的分带性、岩体成矿专属性、地层岩石容矿的相对选择性、成矿物理化学条件的特殊性、成矿的叠加、继承性、岩体特征标志及物化探异常等，都是矿区成矿预测的重要依据。

1. *控矿的构造因素*

构造是控制矿产空间分布、排列组合形式、矿体形态产状的重要因素，并对矿床的改造、叠加、破坏，起着重大的影响。对局部构造的深入分析，无疑是矿区成矿预测的首要课题。

大量事实说明，不同性质的断裂构造、褶皱层间构造、侵入体与围岩的接触构造、火山构造等，都有明显的控矿和预测意义。

我国地质工作者，在自己的实践中，应用地质力学理论总结出构造体系多级控矿、构造体系复合控矿、构造交汇部位控矿等理论和观点，预测油气田、煤田、铁、钨、钼、金刚石及其它有色稀有金属矿床，收到了显著效果。不少单位在矿区成矿预测中，运用地质力学理论和方法，取得了可喜的成绩。如贵州万山汞矿田、个旧和大厂锡矿田等，经过矿区成矿预测，明确了矿田、矿床内的找矿方向，并总结出矿床分布的方向性、等距性、对称性及递变性等一系列规律。

在这方面，受构造控制的矿床或矿体成组成群作等间距分布，特别值得注意。如大厂矿田内，成矿带以1.5至2km的定距排列；个旧矿田马拉格矿区内，矿群间距为200m的倍数，矿体间距为20m的倍数。运用这一规律，在这些矿区的深部、边部找到了盲矿，在外围找到了新矿区。

2. *矿床的分带性*

前已提到矿床的分带现象素为人们所关注。近些年来，通过大量工作，积累了不少实际材料，大多是涉及内生金属矿床，如Sn、W、Mo、Pb、Zn、Cu及稀有金属等。研究矿床和矿体的矿化分带性，是矿区成矿预测的可靠依据之一。矿床的水平分带对预测新的外围含矿地区是很有意义的。矿床的垂直分带对预测隐伏矿化尤为重要。

3. *岩浆活动因素*

对岩体形态、产状的研究，往往是根据接触面的产状、原生流动构造产状、接触带的宽窄、岩相的分布情况和物探、钻探资料来推测的。目前，对隐伏岩体的研究，已成为矿区成矿预测课题的重要内容。隐伏岩体呈岩脊状、岩株状的小突起部位，经常控制了矿化地段的分布，一个"突起"构成一个矿化中心。在突起顶部的断裂挠褶带以及突起的倾没端部（即岩浆流动前缘），常是脉状、细脉状、似层状、透镜状矿体赋存的良好空间。

接触热变质圈的存在，是找隐伏接触带的直接标志。由于岩体形态的复杂性，常导致多层接触带的出现。某些老矿区掌握多层隐伏接触带控矿的规律后，储量成倍增长。

岩体剥蚀深度的研究，对预测矿产也有重要作用。如江西宫家坞矿区，判别岩体剥蚀深度的依据是：上覆地层残存与否；岩体出露部分边部的流动构造是否可见；岩体上部磷灰石、锆英石的多少；颜色变化等。该矿还根据氧化系数的变化，结合岩相变化来推测岩体的剥蚀深度。

岩浆岩体成矿专属性的规律认识，迄今仍然是内生矿床成矿预测的重要依据。在矿区成矿预测中，不仅要注意研究岩石类型、岩相划分、岩石结构构造、矿物成分与矿产的空间关系，而且要强调岩体酸度、碱度以及岩体中成矿元素、挥发分含量与成矿关系的研究。例如，同锡石-硫化物矿床有关的花岗岩石中，成矿元素（Sn、Be、Pb、Li、Nb、Ta、Zr、Th、U、TR等）的背景含量，均高出世界花岗岩的平均含量(维诺格拉多夫计量值)的1倍至

几倍，而且普遍具有富钾的特点，如广西大厂拉磨岩体含K_2O为5.28%，云南都龙老君山岩体含K_2O4.29～5.58%。

个旧矿田的花岗岩具有富钾、富锡及其它成矿元素含量高的特征，但这只是矿区成矿岩体的一般特征，只有在具备这些条件的基础上，氟的含量又高到一定程度，才产出好的矿床。该矿区与已知锡矿床有关的花岗岩，含氟都大于2000ppm，产矿最好的老卡岩体含氟2450～3750ppm，其中老厂矿床最大，氟含量也最高，达到3750ppm；产矿较好的马松岩体含氟2040～2260ppm；产矿差的龙岔岩体为1160ppm，神仙水岩体为1250ppm，白沙冲岩体为1150ppm（图5-1）。

从图中可以看出花岗岩岩体氟含量的变化曲线同探明储量的百分比十分近似，表明它们之间存在内在联系。由于氟锡酸盐在酸性溶液中有较大的稳定性，可以在溶液中迁移，因而氟的含量是锡在溶液中迁移富集的重要条件之一。苏联Л.В.塔乌松等认为含矿侵入体氟含量水平在0.2～0.3%；东德菲希特尔-厄尔士山脉地区评价含矿花岗岩时，其含氟标志是2000～10000ppm，而没有远景的为150～1400ppm。从上述实际资料可以看出，岩体中氟的高低是评价和预测岩体锡的成矿性的重要标志。

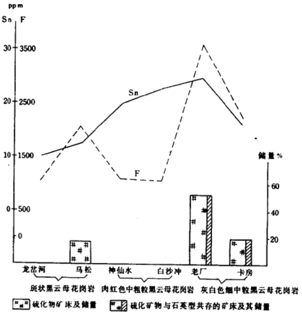


图5-1 个旧矿区各花岗岩岩体产矿情况与锡、氟含量关系图

（据云锡地质队，1978）

4．*成矿的叠加、继承性*

矿区往往是多种成矿作用叠加和成矿继承性活动的地质舞台。许多矿床是多成因的，它表现为矿质多来源以及多种成矿作用和多期多阶段成矿的叠加。成矿期的间隔时间很长，彼此没有明显的成因联系，如白云鄂博的铁、稀土矿床，沉积作用发生在15×10^3Ma以前，岩浆作用叠加发生在近3×10^2Ma前。多阶段叠加成矿则是构造脉动等因素造成的。搞清成矿的时间脉动性，把握主要的成矿期（或阶段）有重要的预测意义。成矿的继承性，是反映同种物质或金属元素在不同时代重新活动，辗转成矿，形成新的矿床类型的特点。当我们发现了与某一时代有关的某类型矿床时，就必须注意在该地区是否还有属于其它时代的同一种金属的其它类型的矿床存在。在岩浆演化过程中，有时也表现出明显的地球化学继承性，如个旧矿区，在花岗岩结晶阶段，锡富集于黑云母中，氟也富集于黑云母中（1.14～1.87%）；矽卡岩形成阶段，锡富集于石榴石、方柱石及辉石中，氟则富集于符山石中（1.85%）；氧化物、硫化物阶段，锡呈锡石分出，而氟则呈萤石析出。锡石和萤石的继承性，可作为评价岩体含矿与否的参考标志。

目前，隐伏矿床（体）预测依据的研究，还是一个比较薄弱的环节。但是，诸如利用构造的局部化特征、构造排列组合规律、隐蔽界面出现规律、物化探定量预测指标、矿体(群)

侧伏规律、氧化带特征、蚀变的预测信息、含矿间隔以及成矿物理化学条件研究成果等，均取得一定的值得重视的成功经验。

三、矿区成矿预测的意义

1．矿区成矿预测是开发矿产资源的直接需要

从矿床分布规律来看，孤立出现的矿床是很少的。大多数是成片成带分布，集中产出。据B.M.克列特尔统计，全世界有80％的矿床都分布在矿田范围内。不少矿区在客观上仍有许多潜在的矿床，多数是深部矿和盲矿。因此，开展矿区成矿预测，在生产区及其外围进行找矿探矿，是一项重要的任务。近些年来，北美斑岩铜矿储量剧增，就是进行老矿区的矿床地质研究，坚持在老区找新矿所取得的。从50年代以来，该区新发现的39个斑岩铜矿床中90％以上的矿床都位于已知的铜矿区内．其中80％是在紧邻已知矿床或矿点处找到的。1965年在美国西南部发现的卡拉马祖大型斑岩铜矿，就是在老矿区外围发现隐伏矿床的一个比较典型的例子。

美国西南部自老矿区新找到的26个斑岩铜矿中，有15个距离生产矿山30km左右，其中有8个只有3km，最近的两个仅有0.8km。苏联“九五”（1971—1975年）期间新增加的7.8Gt铁矿储量中有6.0Gt是在克里沃罗格和库尔斯克等老矿区获得的。

我国鞍本地区，混合岩广泛出露，约占1／3的面积，过去人们一直把混合岩发育地区作为“找矿禁区”。独木—八盘岭铁矿是毗邻弓长岭铁矿的一个新矿区，面积约2km²，为花岗质混合岩覆盖。过去认为“混合岩把矿吃掉了”，独木、哑叭岭和八盘岭是3个孤立矿点，对其面状宽缓磁异常则解释为零星分布的鞍山式铁矿残留体或弱磁性体所造成，因此，没有引起充分的注意和研究。

鞍钢冶金地质四〇四队，大胆实践，敢于创新，在深入地质研究和大量钻探验证的基础上，对本区铁矿提出如下新认识：①3个已知铁矿点产状相向而倾，矿区为一复式向斜，深部矿体联为一体；②均质混合岩（混合岩化程度高）无矿，其余混合岩可能有矿；③混合岩中的残留体均系铁、镁质高的岩石及鞍山式铁矿，说明鞍山式铁矿在混合岩化过程中未被吃掉，可以保存；④在未受外力干扰的情况下，混合岩中铁矿残留体（层）的产状与混合岩化前原岩的产状基本一致。通过对残留体（包括铁矿层及原岩）的研究可以预测新盲矿体；⑤本区低缓磁异常为矿异常，引起低缓磁异常的主要原因是铁矿层次多，产状缓。因此，在很短时间内，使矿区联点成片（图5-2），铁矿储量猛增6倍。该队根据这一经验，对老岭矿段

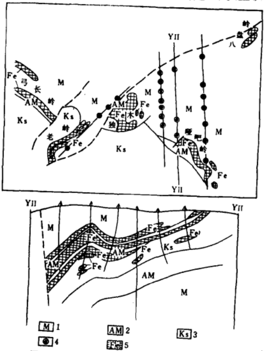


图5-2 独木—八盘岭矿区地质平剖面图
（据冶404队资料，1978年）
1—混合岩；2—角闪岩；3—黑云斜长变粒岩；4—钻孔；5—铁矿体

外围低缓磁异常区和本溪马耳岭矿区的混合岩，开展了找矿工作，同样取得较好效果，使储量比预计增加3倍多。

2. *加强矿区成矿预测、扩大工业远景*

在老矿区及其外围找到新矿床，可以扩大现有矿石原料基地，便于迅速开发利用，能使现有矿山企业生产潜力得到充分发挥，建设投资少，工期短，收效也快，有重大的现实经济意义。这不仅可以使老矿恢复青春，而且也是扩大找矿远景的重要手段。

苏联诺里尔斯克镍矿区经过30年开采后，已到了“硐老山空”的地步。近十年来地质人员对矿床进行了深入研究，查明了该区含矿侵入体呈链条状沿区域性深断裂分布，矿床与暗色岩特别是辉长-辉绿岩体有成因和空间关系，富矿体往往产在岩体的底部。应用这些新认识在老区东西两端仅几公里的同一深断裂延长部位找到了2个新的隐伏富矿（铜品位为3—3.5%，镍品位1.5—2%，铂族元素平均品位为5g／t以上）。60年代以来日本先后发现20多个重要黑矿（即块状硫化物矿床），大部分是加强对老矿区的基础地质研究和成矿预测而找到的。

我国夹皮沟金矿、水口山铅锌矿、湘西钨矿等许多矿区，都是运用地质规律、加强科学预测使老矿山焕发青春的典型实例。据江西12个钨矿19个生产矿区统计，作为建设依据的首次地质勘探提交的储量，只能保证生产15—20年，由于加强矿区地质研究，边、深部资源远景不断扩大，经过20多年开采后，到1977年，工业储量不但没有减少，反而增加，累计探明总储量已是首次勘探提交储量的1.6倍，其中工业储量翻了一番。

3. *促进成矿规律和成矿理论研究*

矿区成矿规律研究和成矿预测中，随着研究程度的提高，对矿床地质规律认识也不断飞跃，可以总结出新的观点，既能指导矿区的找矿探矿工作实践，又为发展矿床理论作出贡献。

宁芜火山岩区玢岩铁矿理想模式的建立，赣南粤北根据地表标志带寻找隐伏钨矿床的“五层楼”成矿规律的总结，山东招掖地区焦家式破碎带蚀变岩型金矿的提出，都是比较突出的例证。

云南易门铜矿，在60年代就点论点，局限于“热液成矿”理论，不适当地确定“沿绿汁江大断裂的东西两翼进行找矿”，使数以百计的矿点，误判为“无矿”或“无开采价值”，使地质工作走入了困境。1970年，该矿认真总结了十几年来找矿、探矿、采矿的实践经验，对大量地质资料进行整理和综合研究，将矿点按其成矿特征进行分类，发现矿区内大量矿点分布在两个铜矿带上，即：东部的铜厂矿带和西部的绿汁江矿带。初步认识到：①矿体具有一定的层位，与一定的地层组合有关，矿体受地层岩相控制（图5-3），

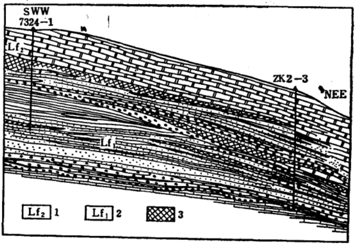


图5-3 易门铜矿区矿床受地层、岩相控制剖面示意图
（据易门地质队资料简化）
1—浅灰色硅质白云岩；2—紫灰色白云质粉砂岩、板岩互层；3—铜矿体

②矿体内的金属矿物具有分带特征，矿体延伸方向与金属矿物分带展布方向一致；③矿体的富集与沉积时古地形有关，在封闭及半封闭凹陷地带内，铜矿体常较富较厚；④变质作用明显的矿床，矿体沿一定构造部位分布，含矿围岩有退色现象。这些特点，反映了"沉积变质"矿床的特征，从而得出了"沿地层找矿"的新认识，扩大了找矿思路，坚定了在老矿区找矿的信心。据此抓住矿受地层控制这个主要矛盾，从研究含矿层的空间分布规律入手，开展深入的地质调查研究工作，分析对比了10个地段的地层变化情况，初步查明，狮山、凤山两个主要生产矿山含矿层延伸至莱园河峡谷后，即向深部断失，垂直断距200～250m。后来，深部采矿工程证实矿体被7号和8号断层破坏，因而大胆施钻。第一个钻孔就打到了两层富厚矿体，以后孔孔见矿，矿体延伸数百米，证实了狮山、凤山矿体是相连的（图5-4），进一步说明"矿受地层控制"。因为掌握了金属矿物的分带规律，能够比较准确地预测矿体的部位，有效地指导了找矿勘探工作。由于认识上的突破，在过去断言"无矿"的地区，找到新的矿体，1970年1年获得铜储量等于60年代10年探明储量的总和。1971年又发现新的含矿类型——含铜杂岩，工业储量增长42％。1973年在凤山矿区又找到了"近、浅、富"的铜矿体，基本上改变了矿山资源不足的被动局面。

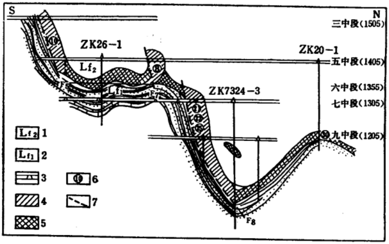


图5-4　易门铜矿区狮山、凤山矿体连接剖面示意图

（据易门地质队）

1—浅灰色硅质白云岩；2—紫灰色白云质粉砂岩、板岩互层；3—坑道；4—1971年以前探明矿体；5—1971年探明矿体；6—矿体编号；7—断层

综上所述，矿区成矿预测工作，是多快好省地发展地质找矿事业，不断扩大矿区远景，延长矿山寿命的重要措施。目前这一工作尚处于探索阶段，有待认真开创，认真总结，逐步提高。

第二节　矿区成矿预测中构造研究特点

任何矿产的形成，除了要有成矿物质来源外，也要有成矿物质运移的通道和沉淀、聚集的场所，这都与一定的地质构造有关。在成矿预测中，必须把构造研究放在首要地位。矿田、

矿床构造对内生矿床、变质矿床的矿体形态、产状及分布范围，有明显的控制。对沉积矿床的预测评价工作也很重要，早期构造活动所形成的坳陷控制了矿层的沉积范围和规模，后期构造活动不仅常常使矿层的形态、产状发生复杂的变化，还可能导致矿层的重复和缺失。

矿区成矿预测，侧重于研究构造的局部控矿问题，侧重于研究控矿构造形迹。不同规模、序次的构造形态，在成矿过程中具有不同的作用。导矿构造（如规模较大的断层或破碎带）对矿田、矿床的展布方向起控制作用。容矿构造（如：小断层、层间裂隙、羽毛状节理等）决定了矿体的形态、产状和延展规模。如云南杨梅山—红坡铁矿带，受到经历了压—张—压三个阶段的东西构造带控制，铁矿带内的矿床和矿体，主要受到低级别的东西向构造和南北向构造的复合控制，分布在低级序的复合弧形构造中。据此规律，在3个被第四系覆盖的预测地段，经钻探证实，找到了隐伏矿体。

一、断裂构造的研究

断裂构造是伟晶岩矿床、岩浆期后气成-热液矿床及火山喷气-热液矿床的主要矿体构造类型。矿体的矿化特征、矿化强度与断裂构造的性质、规模有明显的制约关系。晚期岩浆矿床和沉积热液改造矿床也有不少矿体受断裂构造控制。我国鞍山式铁矿中的富矿体与断裂构造关系十分密切，特别是当贫矿层中有走向冲断层（断面倾角大于15°）时，更有利于形成富矿（如弓长岭）。因此，研究断裂构造控矿是矿区成矿预测工作的重要内容之一。

（一）把握主导断裂构造的预测意义

构造活动与成矿作用的关系，不仅表现在空间上，而且表现在时间上。按其与成矿作用的时间关系，可以区分为成矿前构造、成矿期构造和成矿后构造，它们对矿床的预测和评价有不同的实际意义。对于断裂构造，尤其如此。

成矿前构造一般对矿床起控制作用，但并非所有成矿前构造都具有相同的成矿意义。实际上有些形成较早的断裂构造，被岩脉充填固结，失去矿液通道和矿质沉淀空间的作用。对矿床形成有重要意义的通常是形成时代稍晚、临近成矿时期的构造，或者是受这些构造活动的影响，发生复活的老构造。成矿期构造是在成矿过程中发生的，它为含矿溶液的多次上升和成矿组分的叠加富集创造了有利条件。成矿期构造活动频繁的地段常有较富的矿体形成。成矿期构造启张部位的变化，还会导致矿化分带现象的发生。成矿后构造一般对矿体起改造和破坏的作用，但由于构造活动常有继承性，不能只看到有破坏矿体的现象，就否定其指导找矿的意义。

安徽一个重晶石-方解石-石英脉型铜矿区，位于淮阳“山”字型构造体系的东翼中段。区内出露地层为上侏罗统以安山岩类为主的火山岩系。断裂构造十分发育。闪长斑岩、正长斑岩、拉斑玄武岩及含铜石英脉等沿成矿前裂隙充填，并受到成矿后裂隙的破坏。成矿前的裂隙有如下几组：① 近于SN向的张扭性裂隙；② 近于EW向的扭性破裂带；③ NWW向张性破裂带。

由于没有揭示断裂构造对矿体分布的控制规律，原施工的18个钻孔中，有15个落空。通过多次检查和对矿区大量地质资料的具体分析，才总结出矿区构造与矿体分布间的下述关系：① SN向张扭性裂隙带不含矿；② EW向扭裂带内虽有矿化，但因受次一级扭裂的限制，含铜石英脉平直细小，排列稀疏，不具有工业价值；③ NW向张裂带是矿区的主导含矿构造，有工业价值的矿体全部赋存其中，在它们与东西向扭裂带交汇处，矿化最好。按照张

性裂隙构造控矿规律重新进行钻孔设计，绝大部分都达到了预想的效果。在张裂带中找到一个长达400m的新矿体和若干平行侧列的小矿体(图5-5)，并根据矿体侧列的规律，追索矿体，进一步揭开了深部找矿的前景。

成矿后断层对矿床的改造，有时也能成为预测和发现新的矿床、矿体的主导因素。美国亚利桑那州卡拉马祖铜矿，即是其例。该矿床是1965年发现的一个隐伏的大型斑岩铜矿床。矿石储量 4.55×10^8t，品位0.7%。它的发现是对附近一个老矿床（圣马纽埃铜矿床）的成矿后断层的性质进行鉴别，同时配合矿床蚀变的研究、综合分析的结果。

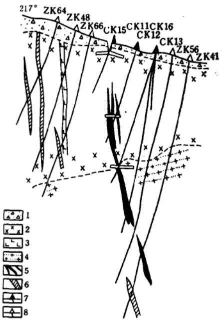


图5-5 某脉状铜矿10号勘探线剖面图

（据王道经，1973年）

1—坡积物，2—安山斑岩，3—正长斑岩，4—火山碎屑岩，5—原有矿体，6—新发现的矿体，7—原勘探钻孔(CK)，8—新施工钻孔（ZK）

圣马纽埃矿床是40年代末期发现的。1917—1958年间在西边卡拉马祖地段打过一些钻孔，未遇矿体。此后，对圣马纽埃铜矿进行了大量的、深入的蚀变和构造研究，发现圣马纽埃铜矿体的蚀变带在平面上大致呈半圆形分布，缺失了与此对称的另一半圆形蚀变圈。于是对矿床西侧一条主要断层的性质和产状深入分析，确定它是一条低角度的正断层，从而推测与圣马纽埃矿体对称的另一半圆筒形矿体应位于该断层上盘，向下滑动，隐伏到圣马纽埃矿体的西南面。据此重新检查了卡拉马祖地段的老钻孔资料，发现有的孔已打到了边缘蚀变带，有的打到了石英-绢云母蚀变带。只是因为原来对矿床地质未进行详细的研究，钻孔深度不够，所以未遇到矿体。于是，结合化探资料布置钻孔，第一钻就打到了具有工业品位的铜矿石。

对沉积矿床，把握断裂的力学性质，同样具有重要意义。湖南湘潭锰矿冷水冲附近，侏罗系含煤盆地与板溪群间为断层接触。原来依据地表产状，看成是正断层，那么在板溪群下就不可能寻找隐伏煤田。湖南煤田六队对该断层力学性质进行了详细研究，证实是一条呈舒缓波状(垂向上也如此)的挤压性断裂、预测冷水冲井田内有一半地层为板溪群所逆掩覆盖，经7个钻孔验证、均从板溪群上穿过断层见到了侏罗系及二叠系龙潭组合煤地层，从而扩大了煤矿远景。

（二）以断裂构造为主，对构造系统全面研究

对构造系统全面研究，包括：综合研究导矿构造、配矿构造和容矿构造；全面分析成矿前、成矿时和成矿后构造的相互关系；深入调查不同性质的断裂构造的含矿性质以及断裂构造和其它构造（如褶皱构造）组合控矿特征等等。

1. 导矿、配矿、容矿构造的综合分析

导矿构造是指含矿熔浆或热液自深部（上地幔、地壳深部）进入矿田范围的通道。配矿构造是矿液从导矿构造出来后，向成矿地段运移的构造，它们常是与导矿构造交错或连接的断裂、裂隙带或透水层。由于作为矿液流动的构造常是多级别的，互相交错的，有时在实际

工作中不易将二者分开，可统称为运矿（或引矿）构造。容矿构造是包含矿体，决定其形态、产状、大小以及某些情况下决定矿体内部结构特点的构造。这样划分构造要素，只有相对含义，必须结合具体情况，对构造系统作全面的分析。

导矿的主干构造往往控制了矿区或矿带的展布，而本身很少含矿或不含矿。含矿的常常是伴生构造或派生构造。山东某金刚石矿区，矿带展布受新华夏系的北北东向断裂控制，而矿体受低级别的断裂所制约，自北向南呈有规律的雁行式排列。据此特点，既重视沿北北东向断裂追索含矿地段，又细致研究低级别断裂控矿的具体规律，很快在已知矿床以北、以南的覆盖区找到隐伏矿体（图5-6）。

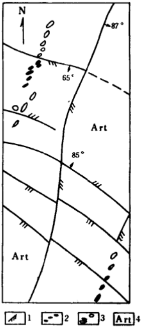


图5-6　山东某金刚石矿区简图

1—压性及压扭性断裂；2—较早发现的矿体；3—详查后发现的矿体；4—泰山群片麻岩

2. 复合构造的综合分析

构造复合现象与成矿作用及矿产分布都有一定的联系。一、二级构造的复合部位往往控制了矿带或矿田的生成。而矿床和矿体的产出，则常与伴生构造或派生构造密切相关。例如，纵张裂带与横张裂带、"X"型扭裂带、"入"字型分支（派生）断裂、再次旋扭构造裂隙以及它们相互交接的部位，都可能成为内生矿床或矿体赋存的场所。在生油盆地中，石油也时常运移、聚集在低级、再次扭动构造，特别是旋扭构造形迹之中。因此，矿区成矿预测工作必须注意低级构造（三、四级构造）复合控矿的各种因素。

赣南九龙脑西部隐伏矿床的预测是一个很好的例子。九龙脑表露矿床早在1957年就被找到，而西部隐伏矿体是在1965年才被发现。该矿床受东西构造带与新华夏系构造复合产生的NE70°到EW向的挤压带所控制，矿体产在花岗岩内接触带中。据此预测在矿区西部沿接触带可能有片段分布的挤压带和隐伏矿体存在。实地调查，发现宽数十米的热液蚀变带与东部表露矿体成雁行式排列构成"多"字型，进一步说明隐伏矿体存在的可能性很大。钻探结果证明，确实是一个隐伏钨矿床。此后，根据这个经验，以及新华夏系与NW-NWW向构造复合控矿的规律，在其它地区发现一批新矿体。

安徽某矽卡岩型铜矿床，燕山期花岗闪长岩体及其有关的铜矿体赋存于遭受NE向褶皱、断裂的地台构造层中，控矿规律不甚清晰。后来，结合航磁资料研究确定了一条横贯矿区的东西向隐伏基底断裂，才认识基底断裂与NE向断裂（盖层构造）交汇控岩控矿的客观规律，有效地指导了矿区预测找矿工作。

（三）断裂系统的研究

1. 地表细微裂隙带

地表细微裂隙带，往往伴有热液蚀变构成裂隙矿化蚀变带。它们本身没有工业价值，但却是寻找和评价隐伏矿床的重要标志。广东冶金地质923队运用"五层楼"规律，在梅子窝矿区外围找到了几十个地表显示为裂隙蚀变带的脉群，不少被深钻证实有深部工业矿体。矿床远景的大小，与地表标志带的性质存在着内在联系。脉带方向稳定、含脉密度大、微细裂隙白云母线所占比例大或硅泥质薄膜中云母含量高、围岩蚀变复杂、蚀变强度大、蚀变岩中锡与氟的含量高、脉带往下收敛或细脉往下变大的速度快而且逐渐出现主脉等等，都表明具有

工业矿体的可能性大，矿化亦可能较强。根据系统的统计发现，脉体上部细脉带的脉宽总和（脉幅和），大致相当于下部大（薄）脉的总厚度。

在寻找全隐伏矿床方面，某钨矿区芭蕉坑区段是一个成功的典型。该区段原按“数大脉”的方法，地表找不出一条可供上图的矿脉。后来注意到成组、成带大量存在的0.1～1cm宽的云母石英细脉和蚀变裂隙，可能是隐伏矿床的表露标志，使用含脉率等标准圈定矿化标志带。在所圈定的10个带中，以主带为中心，南侧各带北倾，北侧各带南倾，构成向深部收敛的形态，结合矿区已知部分矿床垂直分带规律（自浅而深呈蚀变标志带—细脉带—密集大脉带—单一大脉带的变化；如图5-7），预测其深部将合并变大。后经钻探验证，在标志带延深100～200m的深度以下揭露出一个完全隐伏的工业矿体，延长在1500m以上，工业矿化延深400余米，探明储量达数万吨。



图5-7　某钨矿区垂直分带形态

除用于寻找隐伏钨矿床外，在寻找隐伏或半隐伏脉状稀有金属、铜及多金属矿床方面，也收到了良好效果。某稀有金属矿床，就具有类似“五层楼”的特征，此矿床的脉状花岗岩型和花岗伟晶岩型矿体，上部为细脉或薄脉相向产出，往下逐渐合并成为大脉或巨脉。粤北锯板坑多金属矿床，也是典型的实例。该矿床可分5层（带）：Ⅰ层—蚀变标志带，Ⅱ层—细脉带，Ⅲ层—薄脉带，Ⅳ层—大脉（带），Ⅴ层—巨脉（带）。

矿床的垂向分带是成矿过程中地质构造条件和地球化学条件历史演化的综合反映。影响矿床垂向分带的因素很多，主要是：①容矿断裂裂隙力学性质、运动方式、排列组合格式、纵横变化规律，控制着矿体形态、规模、产状在三度空间的变化；②矿液中成矿元素的丰度以及成矿过程中物理化学条件的变化，控制着矿床的矿化蚀变类型及各种矿物的沉淀顺序和沉淀部位，产生不同的沉淀分带；③容矿断裂裂隙与成矿母岩的相对空间位置，决定了矿床的赋存部位及矿液的运移距离；④成矿过程中岩浆-矿液分异演化与构造运动的相互配合，控制着矿床的多阶段矿化及脉动分带特点。由此可见，脉状矿床的垂向分带不可能是千篇一律的，必须结合实际情况，深入研究不同类型标志带本身的特征，这对预测地表标志带的深部矿化远景具有重要的指导意义。事实上，有的“标志带”并不能找到隐伏矿床。江西南部浅变质岩内已发现的数十处地表标志带中近一半进行了深部评价或勘探，其中，肯定具有工业价值的脉钨矿床者占61%，深部未发现工业矿体的占39%。

初步综合赣南脉钨矿床标志带向深部的变化，具有以下4种情况：①外接触带脉带型隐伏矿床，地表标志带向深部收敛、合并，在花岗岩体外接触带构成具有工业价值的脉带型矿床，这类矿床数量占隐伏矿床的36%，容矿断裂裂隙力学性质为逆断层式的一对扭裂隙，整个矿床带在横剖面上构成上宽下窄的楔形，具有较典型的“五层楼”式的垂直变化规律；②外接触带单脉型矿床，地表标志带中的细脉向深部合并变大，在花岗岩体的外接触带中构成具有工业价值的单脉型矿床，容矿裂隙力学性质一般是压扭性或张扭性，矿床数量占隐伏矿床的27%；③内接触带单脉型矿床，花岗岩体内的隐伏矿体多延至接触面附近尖灭，矿床数量占27%；④内—外接触带单脉型矿床，主要工业区段位于接触面上下各150m左右，已知

矿床量少。后两者不完全具备"五层楼"特点。

在评价地表标志带时，必须联系区域地质背景，因为标志带及矿床的形成，受区域构造发展和岩浆热液演化的支配，具体分析标志带所处的区域环境，研究其形成的地质条件是评价标志带的地质基础；特别是要研究矿床构造，研究容矿裂隙的力学性质、空间展布、发育强度、成生发展和体系归属，例如在大余矿田中，东西向扭裂隙充填的矿脉多向深部收拢、合并，构成细脉带型矿床，NE—NEE向扭裂中充填的矿脉常向深部合并、变大成单脉型矿床，NWW向张扭性裂隙中充填的矿脉向深部部分尖灭，部分变成单脉型矿床，容矿裂隙在成矿期发生多次活动的矿区常发育多阶段矿化，构成矿物组合复杂的钨锡硫化物型矿床，矿石品位亦较富。此外，还必须研究与成矿有关的花岗岩体特征，它直接影响隐伏矿体的形态、矿化深度和矿化强度，据赣南统计，花岗岩侵位愈高，多形成内接触带矿床，如西华山、荡坪、下垄、红桃岭等矿区，花岗岩出露标高均在海拔500m以上，在产于外接触带矿床中，花岗岩的隐伏标高一般不超过300m。

2. 裂隙排列规律分析

控矿裂隙经常成群出现，构成组系。同组裂隙常作边幕式递错排列（即"尖灭侧现"）。这种排列规律可作为找寻盲矿的依据。

控矿裂隙的递错排列，通常可分为4种。沿走向可分为左灭右现（右行边幕式排列）和右灭左现（左行边幕式排列）两种。沿倾向可分为上灭下现（后行边幕式排列）和下灭上现（前行边幕式排列）两种。

广西某锡矿经少量坑探和钻探揭露之后，总结出控矿裂隙在剖面上呈后行侧幕式分布的规律，预示在第Ⅶ组脉的下盘可能有新的盲脉组存在。施工了几个千米钻孔，效果很好，发现了新的脉组（图5-8）。

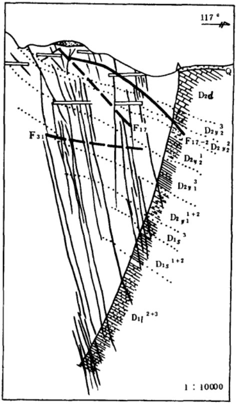


图5-8 广西某锡矿7号勘探线剖面

（据某矿勘探队，1974年）

D_{1l}—莲花山组；D_{1s}—四排组；D_{2y}—郁江组；D_{2d}—东岗岭组；Q—第四系；F_{17}—断层及编号

3. 控矿断裂与含矿围岩的综合分析

在分析矿区断裂控矿规律时，仅仅考虑导矿断裂是不够的，还必须全面研究容矿的有利场所。矿化在挠曲发育的部位和不同岩性的界面富集，就是一种很普遍的现象，它经常被成功地应用在找矿勘探上。例如石灰岩、白云岩所组成的互层中，矿化频率高于单一的灰岩层若干倍。某矿区缓倾斜层间矿体，有70.2%是分布在互层岩层中，而绝大部分又是分布在"断层加互层，断层加挠曲"的部位，或矿体在"断层加互层"部位富集膨大。

以云南个旧锡矿老厂矿田湾子街矿段为例（图5-9）。在已经评价勘探的83个矿体中，赋存于"断层加互层"部位的45条，赋存于"断层加挠曲"部位的16条，共计61条，占矿体总数的71%。这是因为"断层加互层，断层加挠曲"部位，在成矿过程中常常形成复杂的构

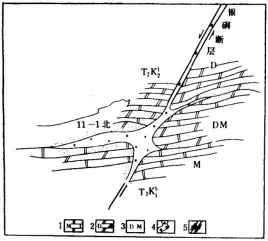


图5-9　断层切过互层带引起锡矿化富集（老厂湾子街）

（据云锡地质队）

1—大理岩；2—白云岩；3—互层带；4—矿体；5—引矿断裂

造系统，既具备了矿液扩散的条件，又具备了矿液集聚交代和沉淀的条件，有利于矿体（尤其是富矿体）的形成。

某铜镍矿床，位于NWW向大断裂南侧，含矿超基性岩体沿着与大断裂带小角度斜交的次级断裂不整合侵入前震旦系结晶片岩及大理岩系中。矿区地质构造复杂，以各种性质的断裂为主要构造形迹，对矿体及各种脉岩的形成、分布起着控制作用。NWW向大断裂为压性构造，是超基性岩体侵入的通道，控制含矿岩体的是NW向的压扭性断裂及其北侧的次级断裂。构造活动具有长期、继承性特点，原生节理受区域应力作用发生再活动，成为晚期贯入矿体及岩脉的构造控制因素。矿床具有多种成因，有岩浆熔离和深部熔离多次贯入的，也有岩浆期后热液和交代成因的。由于对控矿断裂和含矿围岩的全面研究，发现本矿床中具有重要工业价值的，不仅是岩体底部富矿体和中、下部主贫矿体，而且在离岩体不远的围岩中，有交代型矿体和块状矿脉，且矿石镍品位很高，有的是贫矿的14倍，并常在底盘围岩中形成盲矿。初期钻孔一般打穿岩体即终孔，后来认识到"矿浆可能从主矿体中沿成矿前之伴生张裂隙贯入，形成伸入非超基性围岩中的矿枝"，不少钻孔在岩体底盘围岩中，找到了隐伏富矿体。

4．矿床构造的对称性

岩浆期后矿床的构造常常具有对称的特征。一般的说，目前发现的对称类型有两种：一种是与中心型深成岩体、火山环状构造、锥状构造、穹窿构造、陷落构造、爆发岩筒等有关的多金属、铜、铁、稀有金属、Au、Sb、Hg及萤石矿床中常见的放射状对称现象；一种是岩浆期后矿床中成等距离分布的一系列矿脉呈镜面对称。

国外用对称观点研究矿体的韵律性分布，最早是由库蒂纳（J.Kutina）于1967年提出的。库蒂纳等人分析了捷克地块、喀尔巴阡山、保加利亚的马丹矿区、萨克逊的富莱堡等地的铅锌矿床、银铅锌矿床和金矿床，发现矿脉在空间上等距离地出现（图5-10），并认为这是剪切应力下所形成的X型节理控制矿化的结果，称为等距离原理。他最先利用控矿构造的韵律性分布来尝试预测和普查矿体，获得了一定成效。

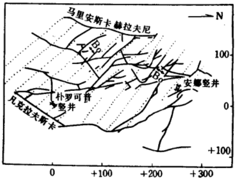


图5-10　北西组矿脉的等间距分布

（据J.库蒂纳）

在普日布腊姆的布雷佐夫—霍利的安娜和伏特契的第11水平面　（坐标以米为单位，点线代表经验剪应力轨迹）

根据等距离原理预测岩浆期后矿体，已经在许多国家应用于实践。例如，苏联中哈萨克斯坦某稀有金属矿床。成矿建造属于与二叠纪白岗岩及浅色花岗岩有关的石英脉云英岩建

造。容矿构造具有明显的对称性（图5-11）。最大的脉带韵律分布于480—500m的区间内。脉带向北发生分枝现象，并保持着分枝侧脉间的距离。矿床韵律构造间的距离与矿体的大小成正比，其近似值总是2的倍数（900～1000：480～500：250～120m）。运用这个规律，在矿田东部超覆于花岗岩之上、厚度不太大的沉积-喷出岩盖层的下面，发现了新的矿体。

我国万山汞矿区内，矿体一般走向为NWW，并成段成组地展布在一个NNE向的带状地域内。矿床之间的距离大致相等，矿体之间的距离也有一定的等距性，一般为100～400m左右。这种定向等距离的成矿规律，间接地反映了容矿构造定向等距分布的特点，是该矿区预测汞矿体的必要参考依据。

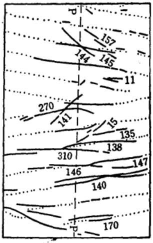


图5-11 中哈萨克斯坦某稀有金属矿床、矿脉的韵律分布
（据M.M.乌柯洛夫）
图上的点线表示控矿构造可能的发育线，数字表示矿脉；P—P′表示对称面

二、褶皱构造的研究

褶皱构造对于矿产的形成和改造有明显的控制作用。一方面，褶皱构造分布的广泛性、发育的连续性和结构的复杂性，对内生和外生矿床起直接的控制作用；另一方面，通过它的众多的伴生断裂（断层、节理、劈理等）间接对成矿进行控制。成矿后的褶皱也可以使矿床改造、富化或破坏，甚至成为叠加成矿的有利构造因素。

查明褶皱构造的具体特征，是矿区地质构造研究的基本任务之一。它是查明沉积矿产，特别是沉积变质矿产分布和富集规律的必要步骤。对于热液矿床，褶皱的轴部、倾没端或扬起端、层间破碎带、层间剥离构造，也常常是容矿的重要部位。因而必须研究褶皱形态和组成褶皱岩层的物理化学性质，以说明与矿产预测有关的地质规律。

（一）向斜构造

世界上大型风化壳富铁矿均产于向斜构造的中心部分（轴部）。我国海南岛石碌铁矿田也是一个轴向NWW—SEE的复式向斜构造，矿体呈层状、似层状，受褶皱控制，与围岩同步褶皱，并随向斜向西扬起，向东倾，主要矿体分布在向斜核部。甘肃镜铁山矿床，由于地质构造认识上的突破，发现矿体也是产于向斜构造中，并因此扩大了矿床远景。

冀东铁矿是我国主要铁矿区之一。通过工作，初步确定了本区有3个主要含矿组（茨榆山组、三屯营组、马兰峪组），10个成矿有利地段，尤其是对矿区基底的认识有了一个飞跃，即本区的基底构造并非"单斜构造"，而是"紧密褶皱构造"。按照新的认识，区内前震旦纪变质岩系的基本构造形态是一系列向西倒转的褶皱。矿体的展布受这种紧密褶皱的控制，矿体的厚度和形态有时也受着它的控制。在向斜轴部矿体往往变厚。有些地区，过去称之为"单斜"的几条互相平行的矿体，实际是褶皱造成的重复。官店子铁矿，以前用"单斜构造"去解释它，不过是一个小型铁矿床，经构造研究，于1973年钻探证实为一倒转向斜，储量增加了4倍多，一跃而为大型铁矿床。水厂铁矿原认为由数层产状较陡的"单斜矿层"组成，经1976年扩建勘探初步证明矿区呈一勺状向斜，深部有两层厚为百米以上的大矿体（图5-12）。

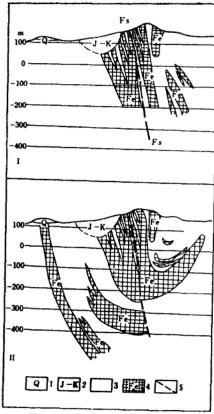


图5-12 水厂北山9号剖面示意图

Ⅰ.单斜构造示意图(1963年) Ⅱ.向斜构造示意图(1976年) 1—第四系; 2—侏罗白垩系; 3—前震旦系; 4—铁矿体; 5—断层

(二)背斜构造

国内外不少气化-热液矿床和沉积变质矿床与背斜构造关系密切。如澳大利亚本迪哥含金石英脉鞍状矿体群、我国锡矿山锑矿、茶田汞矿、花垣鱼塘寨铅锌矿、安徽老鸦岭铜矿等等。砂岩铜矿也常与背斜有关，云南某矿床的矿体集中分布在近背斜轴的两翼和倾没部分，而四川一个矿床则分布在穹窿顶部。辽宁某金矿已知的120多个矿体分布在5条矿化带中，大多数矿体赋存在小背斜轴部及两翼，褶皱的形态大致就是矿体的形态。

云南鹅头厂铁矿床，矿区构造为一NNE向的紧密倒转背斜，核部由昆阳群因民组组成，两翼依次为落雪组和鹅头厂组。背斜走向延伸约1500m，宽100～150m。矿体主要分布在背斜轴部及两翼层间剥离空间中。赋存于昆阳群落雪组白云岩底部与下伏因民组砂岩、板岩接触带上。原勘探为一小型矿床。对矿床成因的认识，由"高中温热液交代充填矿床"转变为沉积变质矿床。

1974年，采用地质物探综合分析方法，对矿区的地层和构造进行反复研究，重新认识，终于初步掌握了矿体赋存部位与空间变化规律。确定了昆阳群因民组是新的主要含矿层位，矿体赋存在因民组白云质碎屑熔凝灰岩、正长黑云母片麻岩-绿泥石片岩、熔凝灰角砾岩及碱性正长岩、辉绿岩组合的岩层中，矿床与火山岩(或次火山岩)有成因关系；并发现矿区的构造，不是一个简单的倒转背斜，而是一个褶皱轴面有扭转变化，即北端轴面西倾、南端轴面东倾的倒转背斜，矿体随背斜轴面而同时发生扭转。过去由于没有搞清背斜构造轴部的扭转变化，致使大部分钻孔在落雪组中顺层钻进，没有打到矿体。根据新认识布钻，钻孔见矿率达80%，为矿区勘探工程合理布置，提供了有力证据。1976年8月，共施工6个钻孔，除1个钻孔因断层错动，深度加大未达到目的外，其余5个钻孔均见到一至数层红富矿和磁铁矿富矿，单层矿厚2～40m，普遍含铜，基本连续。这一新进展使矿区向南延伸数百米，并预测矿区南部赋存有新的隐伏矿体。

由此可见，褶皱形态、部位、产状、延伸方向等，常能直接决定隐伏矿床或已知矿床的隐伏部分的寻找方向。但在褶皱复杂的地区，它们的形态和产状多已被破坏和改造，不易辨认。要求认真识别层理、追索标志层、分析沉积韵律等，以恢复古褶皱构造。对于起伏微弱的褶皱，有时要配合采用精密的高程测量予以确定。这在油气矿藏预测中尤为必要。

图5-13是阿尔巴尼亚布尔奇泽岩体中铬铁矿体形态示意图。该橄榄岩体呈"层状"侵入三叠纪地层中。1960年，曾将矿体形态误判为三个孤立透镜体，后来依据岩相带和条带构造

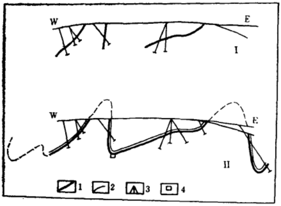


图5-13 阿尔巴尼亚布尔奇泽铬铁矿矿体形态图

Ⅰ—1960年圈定的矿体形态；Ⅱ—后来查明的矿体形态；1—矿体；2—顶板；3—钻孔；4—坑道

确定是褶皱控矿，弯曲处加厚，经钻探、坑探证实，并在矿区东南部发现巴特矿床。

需要指出，褶皱和断层是对应力不同反应所形成的两种对立又常伴生的中型构造。它们之间存在着既有区别又有联系，并可在一定条件下互相转化或互相派生的辨证关系，必须结合起来研究。例如云南个旧锡矿区，多数矿体严格受断层、裂隙的控制，与背斜构造有密切关系；这种背斜断裂构造控矿的特点，对于该矿区成矿预测有重大现实意义。

总之，褶皱构造（包括向斜、背斜及一系列层间构造）是重要的控矿构造类型之一。它与沉积矿床（如沉积成因的铁、铝和煤田等）以及涉及Cu、Fe、Pb、Zn、Sn、Mo、Sb、Hg、Au、U等多种矿产在内的热液、沉积变质等成因的矿床有不可忽视的时空关系，对层状、层控矿床，尤其如此。例如，贵州万山汞矿矿区成矿规律的研究，始终把构造作为控制矿化、预测矿体的主要根据。构造直视，控矿明显，每个坑硐几乎都可以看到一个或大或小的褶皱或褶皱上更次级的挠曲。褶皱分布有一定的规律可循·褶皱规律、形态和发育程度受岩组岩性控制。在褶皱的不同部位有不同的矿化蚀变展布序列，因此，这种控矿的褶皱比较集中地反映了构造、岩性、矿化、蚀变在预测中所起的作用，如果集中全力找到这种控矿褶皱，也就很大程度上意味着可以较有把握地找到矿。30年的实践证明，构造分析在该矿区预测找矿中，确实起着主导的作用。

三、岩体构造的研究

研究岩体构造，主要包括受断裂褶皱制约的岩体形态的变化、接触带构造、接触带与断裂复合构造、捕虏体构造、岩体原生流动构造和岩体边缘破碎带等。研究这些内容，对查明与岩浆岩体有关的许多金属、非金属矿床的矿体空间分布、矿化富集规律，进而指导找矿预测，无疑是十分重要的。

（一）岩体形态的控矿意义

不少地区的铁、铜、锡及多金属矿床和小侵入体有密切的空间联系或成因关系。但是，大岩体的某些突起或呈岩枝状伸出的部位及有晚期小侵入体贯入的地段，也可能是成矿较好地段。

西伯利亚西部诺利尔斯克地区的铜镍硫化物矿床，就是充分考虑岩枝控矿，结合其它因素，成功地预测和找到了塔勒纳赫和“十月”矿区。仅较小的塔勒纳赫矿床，就使苏联这种类型铜储量的比重由百分之几剧增到百分之十几。该地区辉长辉绿岩侵入体分布在走向为NNE的诺利尔斯克大断裂附近50km²的范围内，并分为4个层状分枝，其中“南西”和“北东”岩枝侵入于通古斯组的二叠系地层，称作上部含矿层，“北西”和“下部”岩枝侵入

下、中泥盆统地层，称作下部含矿层。浸染状铜镍矿化在产状平缓的岩枝中构成一个称作"基本含矿层"的层位；富矿体主要是充填岩体根部的张性和收缩性裂隙所形成的。在开采过程中，发现岩枝底板有波状起伏，并且在岩体底板的下突和转折部位，矿体往往变厚加大。

我国鄂东某矽卡岩型铜矿床，矿体受岩体形态控制，在平面图上（图5-11），接触形态呈简单舌状时则利于成矿，特别是由断裂改造的舌状体与灰岩形成的接触带，更利于矿化富集，矿体一般产于舌状体下盘接触带。

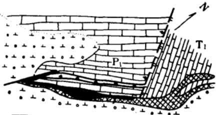


图5-14 某矽卡岩型铜矿床——200米中段示意图
（据602队资料1972年）

在个旧锡多金属矿区，一些成矿条件好的矿段，都具有一种特殊的构造-岩浆岩组合型式，即"上有背斜穹窿，下有岩株突起"（图5-15）。这是指大岩体之上突起的岩株，与上覆围岩的背斜、穹窿构造相吻合。在岩株突起的顶部以及倾没端部（流动前缘）常成为矿化富集区。评价一个岩株突起，往往可进而探获Sn、Cu、Pb等大—中型矿床储量。因此，研究和找寻岩株突起，成为该矿区成矿预测的重要内容。由于岩浆侵入作用，上覆围岩必然要遭受变质、矿化、蚀变，并因底辟作用可以形成一些相应的背斜、穹窿构造，这是预测岩株突起的地质标志。如上覆围岩显著褪色和面状大理岩化，预示花岗岩突起的深度大于600m左右；上覆围岩黄铁矿化、金云母化，预示花岗岩突起深度小于500m；上覆围岩的矽卡岩化，往往是花岗岩突起距地表200～300m范围内的现象。通过预测花岗岩突起，相继在老厂南段和高峰山地区的深部找到了锡、铜矿床。70年代以来，更认识到花岗岩盆状、槽状、岩枝、岩舌型环带状凹陷带构造，也常常有富厚的铜、锡硫化矿及硫化矿浸染的矽卡岩赋存。

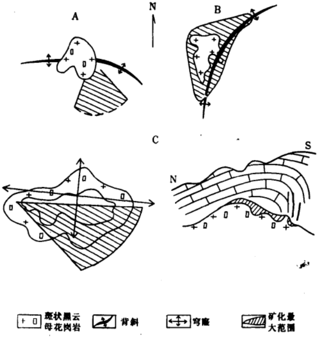


图5-15 个旧矿区有利成矿的构造-岩浆组合型式示意图
（据云锡地质队1973年）

（二）接触带构造

除岩体形态影响矿化富集部位和矿化强度、宽度外，岩体及围岩接触面的接触型式、接

触带形状以及上部围岩的破碎程度，也对成矿有重要的控制作用。例如，垂直接触形态呈“S”形时，矿体在接触带的凸出和缓倾斜部位大而厚，陡倾斜而接触带平直时，矿体较稳定但厚度薄（图5-16）。与有利成矿的围岩接触部位，常常有富厚的矿体。

依据接触面产状和围岩产状的关系，可将接触带构造分为以下几种：

（1）整合接触构造：接触带产状与围岩产状基本一致，形成的矿体形态比较简单，多呈似层状、透镜状。矿体产状常与接触面、围岩产状同步展布，给预测矿产带来一定的有利条件。我国邯郸、莱芜、鄂东、福建马坑等地的矽卡岩铁矿和东北、华南不少多金属矿床、都有整合接触构造控制的矿体。由于围岩破碎程度不同，会出现“相对封闭”和“相对半封闭”两种情况。在相对封闭环境下，热变质和接触交代作用得以较充分地进行，矽卡岩矿床最为发育，矿体多赋存于接触带矽卡岩与围岩的交接面附近。在相对半封闭的成矿环境，则形成内接触带矿床和外接触带的层间矿床、脉状矿床同时发育的状况（图5-17）。

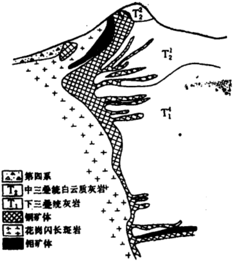


图5-16　某矽卡岩型铜矿床9线剖面图

（据603地质队1973年）

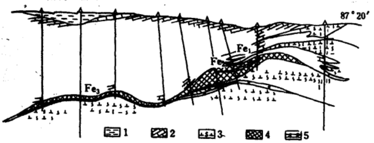


图5-17　某矽卡岩型铁矿床剖面示意图

（据518队、华北所原图简化1973年）

1—黄土；2—灰岩；3—蚀变闪长岩；4—铁矿体；5—矽卡岩

（2）交错接触构造：接触带产状与围岩产状不一致，造成一种相对开放的系统，含矿热液的垂直活动明显，常发育形态十分复杂的矿体（图5-18）。

（3）超覆式接触构造：侵入体超覆于围岩之上。在超覆岩体的下盘，有利于矿化局部富集，构成隐伏矿体。如江西某矽卡岩型白钨-铅-锌矿区（图5-19），在补充勘探中，根据区域存在南北向压扭性断裂带，提出有可能存在使岩体由西向东超覆的构造，于是有意识地布置钻孔穿透岩体，终于找出了超覆构造下的盲矿体群，初步控制远景规模超过原勘探储量的一倍。

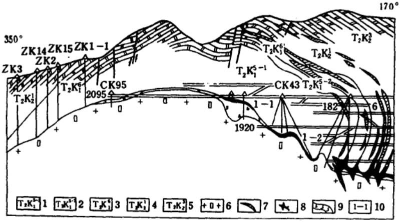


图5-18 某锡矿床地质剖面图（Ⅰ-Ⅰ）

（据云锡地质队1978年）

1—大理岩；2—条带状大理岩；3—白云岩夹大理岩；4—白云岩；5—泥质白云岩；6—斑状花岗岩；7—氧化矿；8—硫化矿；9—矽卡岩；10—矿体编号

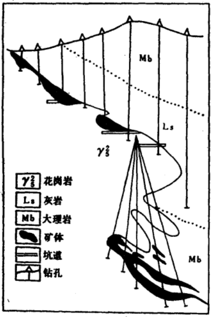


图5-19 某钨矿区勘探线剖面（表示岩体形态与矿体的空间关系）

（三）接触带与断裂复合控矿

岩体与围岩接触面是一个构造薄弱带，故常可被岩体形成后的动力所利用，发展成为滑动面。这种叠加断裂构造的接触带是成矿的良好空间，对形成工业矿体，极为有利。矿体的空间分布，受接触带和断裂双重控制（图5-20）。在河南八宝山矿床、湖南水口山矿床、鄂东南铁铜矿床中，都有这种型式的矿体。云南老厂锡矿则把断层在花岗岩接触带的"扎根"部位，视为成矿预测、开展普查找矿的主要对象之一。

翟裕生教授将典型的控矿接触带构造分为：接触-断裂带构造、多次侵入接触带构造、接触热动力变质构造、接触-圈闭构造、叠加褶皱接触带构造、复合接触构造等6种。并根据侵入接触构造对多种矿床的控制作用，综合成侵入接触构造-矿化的理想模式（图5-21）。近年来，在矿区深部探采工作实践中，逐渐总结出多层接触带和多层矿化带等概念，进一步扩大了我们的视野，促进了找寻隐伏矿床的工作。

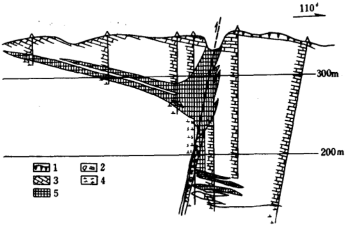


图5-20 某矽卡岩型铁矿床剖面示意图

（据513队、华北所原图简化）

1—浮土；2—角砾岩；3—灰岩；4—蚀变闪长岩；5—矿体

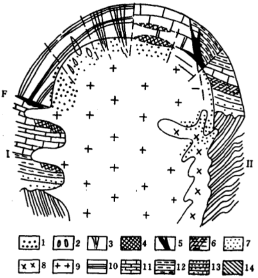


图5-21 侵入接触构造-矿化模式图

Ⅰ—多层状岩体及伴生的接触交代型矿化；Ⅱ—多期（次）侵入接触带及伴生的斑岩型矿化。1—岩浆自交代矿床（包括某些斑岩型矿床）；2—伟晶岩矿床；3—高温充填型矿床；4—接触交代型矿床；5—内外接触带的充填或贯入型矿床；6—沉积—接触改造型矿床；7—蚀变岩；8—后期侵入岩体；9—主侵入岩体；10—砂页岩；11—石灰岩及大理岩；12—泥质岩；13—砂砾岩；14—变质岩系

四、火山构造的研究

许多Cu、Pb、Zn、Fe、Co、Ni等矿床与火山活动有关，已被地质工作实践所证实。自云南和宁芜地区找到了火山岩中的大型铜铁矿床后，打开了在我国火山岩分布地区寻找富铁富铜矿产的广阔前景。对火山构造的深入研究，正是预测和寻找这类矿床的必要的基础工作。

火山构造的基本类型包括：火山口构造、火山穹窿构造、火山岩浆流动构造、火山机体中的断裂构造、角砾岩筒构造等。

火山构造控矿作用十分明显，它既是成矿的通道，又是很好的储矿场所。与火山活动有关的各种类型矿床，常常围绕火山活动中心有规律地分布。例如，马鞍山矿田，钟姑山矿田的铁矿床，就明显地具有这种特征。图5-22是姑山铁矿床环状矿体形态图，该矿床就是一个中心式火山口，围绕火山口有环状断裂存在。著名的智利拉科铁矿，是围绕破火山口分布的，其核部由流纹英安岩组成，在四周次级火山口喷出了铁矿流，由磁铁矿、赤铁矿组成了大面积熔岩状铁矿堆积，形成了5个主矿体，覆盖在上新世安山

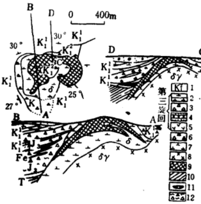


图5-22 含矿的火山岩建造
（据308队 林逊等）
1—第三旋回火山岩；2—安山岩；3—火山角砾岩；4—砂砾岩；5—凝灰岩；6—集块岩、火山角砾岩；7—闪长岩；8—辉长闪长岩；9—火山期后热液铁矿；10—火山机构基底地层；11—喷发喷溢型矿床；12—次生石英岩化火山角砾岩

岩熔岩之上。

火山穹窿构造常形成封闭空间，是火山-岩浆矿床的良好储矿构造。安徽繁昌一带的铁矿床、枞阳火山盆地的某些铁矿床均分布于火山穹窿中。

火山口内放射状张性裂隙和环状、半环状张性断裂，均有重要的控矿作用。前者矿体规模较小，如美国桑姑旺地区的许多Au、Ag、U、Mo矿床；后者矿体规模较大，如苏联外贝加尔的沙赫尤特金矿床、喀尔巴阡的卡明汞矿、墨西哥的皮拉列斯铜矿、我国的凹山铁矿、大东山铁矿等。

角砾岩筒构造是火山通道构造的一种类型，它是非常重要的控矿火山构造。南北美洲58个斑岩铜矿中，有70%与角砾岩筒有关，如智利布拉顿铜矿的角砾岩筒、玻利维亚奥鲁罗锡矿的角砾岩筒等便是。苏联滨巴尔喀什湖的卡拉巴什斑岩铜矿角砾岩筒、南非金伯利岩岩筒，也均属于火山角砾岩筒。晋北某地的铅锌矿床，矿体呈囊状赋存在陡倾斜的凝灰角砾岩中，或呈脉状、浸染状赋存在石英斑岩的接触带及其附近。石英斑岩和含矿凝灰角砾岩在平面上构成不规则的椭圆状，与周围缓倾斜岩层截然不同，它们是沿火山喷发孔道侵入和充填的。靠近矿床的最高峰海拔约2300m，是由火山喷出的流纹岩、安山岩和凝灰角砾岩互层构成，目前高出剥蚀后的古喷火口数百米。山东中部某脉型铅锌矿，也是与古火山口有关。

此外，在远离火山口的火山岩地区，常有各种整合型层状矿床出现；火山盆地边缘火山-深成岩体，也可能发现铜、多金属矿床。

火山构造的研究，离不开基底构造的分析。火山活动往往受区域断裂构造的控制。例如，辽宁金刚石矿区，构造严格控制着金伯利岩筒的分布，该矿区运用NNE、NEE、NWW构造控岩控矿规律，在综合研究第一成矿带的基础上，成功地预测和找到了第二、第三成矿带以及其中的新矿体。

火山构造本身的研究，侧重于确定火山口或火山管道的位置、区分火山口的类型、研究火山构造的控矿因素等，这对指导找矿工作有重要的意义。苏联安加拉—伊犁姆铁矿区，在喷发管道中探明15个以上的铁矿床。火山管道的大小由150m×100m—2400m×800m（图5-23）。铁矿是在200—700m的深度上探得的。需要指出的是，在古火山机构形成后，由于矿化、蚀变、构造叠加和风化剥蚀的影响，常使原始岩性和结构复杂化，要注意多方面的观察和论证（有时要配合显微构造分析），才能具体确定古火山口和火山管道的位置。

河北北部某铜矿区，古火山活动表现强烈。矿化花岗闪长岩体四周，有三面为火山岩包围，只在南部靠近接触带的部位，露出不宽的一条震旦纪地层（100—300m左右）。有一层白云质凝灰角砾岩，不整合地覆盖在震旦纪岩层之上。岩体四周岩层，向四外倾斜，形成一个“短轴背斜”，近接触带的岩层陡立或倒转，围绕岩体构成一个不规则喇叭状的接触带，

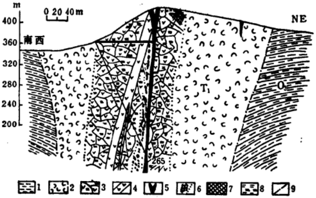


图5-23 图宾管道的地质剖面

1--上奥陶统沉积岩；2—火山管道凝灰岩；3—暗色角砾岩；4—暗色岩墙；5—磁铁矿脉；6—矿化角砾岩；7—角砾-浸染结构的交代型磁铁矿石；8—矽卡岩；9—火山管道的界线

并有似环状、放射状岩脉。因此，确定岩体是在火山喷发后期沿着火山喷发孔道侵入的，接触带就是古火山口的边部。并根据火山岩分布的面积和厚度，编出古火山的理想再造图，为进一步探寻Cu、Mo矿床打下基础。

第三节 矿床分带——矿区成矿预测的重要依据

前已述及，矿床的原生带状分布是指矿物成分、化学成分、矿石结构构造在区域、矿床范围内和在矿体范围内空间上的变化规律。查明矿床的分带特征，对预测、找矿、评价以及指导开采利用，都具有重要意义。

矿床的空间分带规律，可以反映为不同矿物组合沿矿体走向、倾向的规律变化，也可以是围绕某一侵入体，一系列矿床作有规律的分布。从空间位置来说，可分为水平分带与垂直分带；从分带标志来说，可分为金属矿物分带、蚀变分带、矿石结构构造分带和元素分带等。本节侧重叙述矿床、矿体范围的分带规律。

一、金属矿物分带

对于许多矿床的原生分带成因，有多种不同的解释。对热液成因矿床，一般认为是地热分带、脉动分带或沉淀分带；对沉积矿床则认为含矿与成岩物质是同时沉积的，分带性与相变有关，与沉积区距海岸远近有关。

金属矿物的水平与垂直分带是含铜砂岩矿床的显著特点之一。原生矿物分带所显示的这种规律在普查勘探层状铜矿床过程中，被广泛地用来作为预测评价的依据。例如，借助于这个规律就曾对苏联乌道坎矿床深部层位的远景作过正确的评价；矿物分带沿岩层走向及厚度方向所表现出的规律，对苏联哲兹卡斯甘矿床及其它国家的许多矿床勘探和开采，提供了很大帮助。

有人指出，赞比亚的一些含铜砂岩矿床，在盆地浅水部分水中富含氧，使金属成氧化物；离岸稍远，在细菌作用下游离出H_2S；当H_2S不足时，铜首先沉淀，往深处H_2S富集，钴和铁开始沉淀；沉积过程中物质的这种分异，决定了矿物的分带。

在海岸线变动的情况下，矿物带可互相重叠。在地层剖面中，硫化物的更替与海侵、海退有关。海侵性分带是辉铜矿→斑铜矿→黄铁矿（由底板至顶板．如：哲兹卡斯甘）。海退性分带与此相反：黄铁矿、黄铜矿→黄铜矿、斑铜矿→斑铜矿、辉铜矿→辉铜矿（如乌道

块）。显然，矿带可由一种金属矿物构成，也可由几种金属矿物构成。

我国滇中六苴砂岩铜矿床，含矿层位为白垩系上统马头山组下部砂砾岩段，从紫色砂岩向浅色砂岩可分4个带：① 赤铁矿、自然铜带；② 赤铁矿、辉铜矿带（由矿缘到中心两矿物比由1∶1至1∶5，增至1∶10）；③ 斑铜矿、黄铜矿带（伴生少量方铅矿、闪锌矿）；④ 黄铁矿带。金属矿物分带与矿体侧伏的长轴方向一致，据此可了解矿体长轴方向之变化，从而预测矿体赋存部位。

云南个旧锡矿床，从斑状黑云母花岗岩株为中心，沿东南方向自内向外构成5个水平和垂直方向上都很明显的矿带（图5-24）。

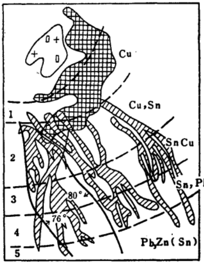


图5-24 个旧锡矿床金属原生分带平面示意图
（据云冶一矿）
1—斑状黑云花岗岩；2—矽卡岩硫化矿；3—层间氧化矿；4—金属分带

（1）Cu带　主要为产于花岗岩正接触带上的矽卡岩硫化矿体和靠近正接触带的碳酸盐类岩层层间的少量不规则状矿体。围岩为石榴石、透辉石、透闪石、阳起石等组成的矽卡岩及碳酸盐岩石。金属矿物组合为磁黄铁矿、黄铜矿、毒砂、白钨矿、辉铋矿和锡石等。此带以铜矿化为主，含铜1—5%，伴生有W（WO_3 0.11%）、Bi（0.18%）。Sn一般小于0.2%。此带宽150～300m。

（2）Cu、Sn带　为层间的管状、条状矿体，下部接近正接触带。金属矿物组合主要为磁黄铁矿、黄铜矿、辉铋矿、锡石。Sn品位一般为不足1%到2.0%，Cu 2～5%，Cu占优势。此带宽400m。

（3）Sn、Cu带　矿物组合与(2)带相同，锡矿化最大富集（2～5%），Cu矿化减弱（0.n～1%）。此带宽约200～250m。

（4）Sn、Pb带　紧接(3)带外侧，金属矿物以黄铁矿、锡石为主，出现少量方铅矿和闪锌矿。Sn品位0.5～2%，Pb0.n～2.0%，Zn小于1%，此带宽约250m。

（5）Pb、Zn（Sn）带　为外带，一般处于地表以下数十米，只有少量Cu和Sn产出，Pb、Zn达到最大富集。Pb品位3～7%，Zn2～3%，Sn0.2～0.5%左右。

金属矿物在垂直方向上的变化与水平方向是相对应的。例如22号矿体（图5-25），Pb、Zn在(5)带最富集，锡在(3)带达到最大值，铜则集中在下部(1)到(2)带。

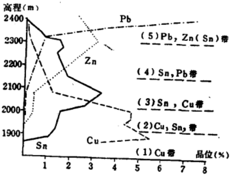


图5-25 个旧锡矿床22号矿体金属垂向分带
（据云冶一矿）

这个锡矿区曾经是一个后备资源增长不快的矿山，由于研究和运用“成矿中心—金属原生分带”的规律进行成矿预测，大力开展以Sn、Cu、Pb三种金属为主要内容的综合找矿、综合勘探，探明了不少储量，缓和了资源危急

的状况。

我国广西某锰矿床，原生含锰岩系经次生氧化作用，锰的氧化电位升高，由Mn^{+2}→Mn^{+3}→Mn^{+4}，也往往显示锰矿物的分带性，由褐锰矿、钠水锰矿→恩苏矿、锰土→钾硬锰矿→锂硬锰矿、软锰矿；矿石构造由薄层状→多孔状→葡萄状→碎块状；Co、Ni、Cu的含量也逐步升高。

东北某金矿床原生分带非常明显。矿物组合的带状分布特征为：上部以高温氧化物组合白钨矿、磁铁矿为主，黄铁矿少量；中部以多金属硫化物为主，磁铁矿少量；下部以石英、方解石为主，有少量黄铁矿、绿泥石。这种分带现象对单一含金石英脉表现尤为明显。如一些脉在某中段以上为高温氧化物组合，向下则为多金属组合所代替，使矿床具有间歇逆向垂直分带的特征，可作为指导矿床勘探和追索深部矿脉的标志。

二、蚀变分带

应用围岩蚀变和蚀变分带特征，预测和探寻有用矿产，早已成为行之有效的方法。正如前已提到的玢岩铁矿成矿模式中，在浅色蚀变带中寻找牛首山亚式铁矿；在浅色蚀变带、近矿指示蚀变带和浅绿色蚀变带过渡部位，寻找梅山亚式铁矿；在浅绿色蚀变带及浅红色蚀变带上部，寻找泰山亚式、吉山亚式铁矿。在岩体一侧具有高岭土化、碳酸盐化，沉积岩一侧具有硅化、角岩化、大理石化时，其间寻找凤凰山式铁矿。

我国若干斑岩铜矿床的蚀变分带，是很好的找矿标志。并可分为面状蚀变和线状蚀变两类。在斑岩侵入体接触带的两侧，常形成蚀变范围大、蚀变强度高、分带好的面状蚀变。如江西某斑岩铜矿床，蚀变垂直分带由下而上为：①钾长石化带（相应矿化带是黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿）；②石英-绢云母-水白云母化带（黄铜矿、辉铜矿）；③水白云母-伊利石化带（黄铁矿、镜铁矿、方铅矿、闪锌矿）；④绿泥石-绿帘石化带（近矿指示蚀变带）。线状蚀变是以矿脉或含矿脉带为中心所形成的蚀变，它依矿脉的形态而变化，呈线状或条带状产出。例如：安徽某斑岩铜矿床的线性状蚀变的垂直分带，由下而上是：①钾长石-黑云母化带（相应矿化带是黄铜矿、斑铜矿）；②石英-绢云母化带（黄铁矿、黄铜矿）；③青盘岩化带（黄铁矿）。

著名的破碎带蚀变岩型金矿，岩石蚀变强度自矿体中心向两侧依次减弱，也呈现明显的分带性。如山东某金矿床，产于破碎带蚀变混合花岗岩中。矿体与蚀变混合花岗岩无明显的界线，呈过渡渐变关系。蚀变带宽数米至数百米，长数千米，矿体在其中呈脉状、饼状或不规则状，无论沿走向或倾向膨胀狭缩、分枝复合现象明显，多条平行矿脉，集中构成一个矿床（图5-26）。单脉长由数百米至数千米，脉幅宽数十厘米至十几米，一般2～3m，延深最大者900余米，一般500～600m，围岩蚀变以黄铁矿化、绢云母化、硅化与金矿化关系密切。岩石蚀变强度自矿体中心向两侧可分为特强、

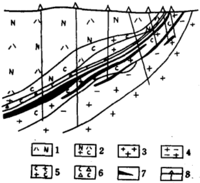


图5-26 某金矿床112线地质剖面示意图
（据吉林冶勘公司1979年）
1—斜长角闪岩；2—绢云母化混合岩化斜长角闪岩；3—混合花岗岩；4—硅化混合花岗岩；5—绢云母化混合花岗岩；6—绢英岩质碎裂岩；7—矿体；8—钻孔

强、一般、弱等4带。工业矿体靠化验结果圈定，由含金黄铁绢英岩、黄铁绢英岩化混合花岗岩和硅化混合花岗岩组成。

辽宁某金矿床，赋存于辽河群高家峪组碎屑状千枚岩、变质砂岩及两者的交互带中。金矿体的近矿围岩蚀变主要为硅化、绢云母化及黄铁矿化，这几种蚀变往往交织在一起，在地层构造适宜的地点，形成较完整的“蚀变晕”，大体可分成若干小环带（图5-27）；中心为致密块状黄铁矿（金品位最高可达1100g/t，一般100～300g/t之间）；第二环带为黄铁矿-石英硅化带（含金可达20g/t以上）；第三环带为强矿化蚀变带（含金品位在8～15g/t）；外带则为含稀疏浸染状黄铁矿的绢云岩化带，含Au品位由内向外约为5～1g/t，逐渐降低，矿体与围岩无明显的界线。

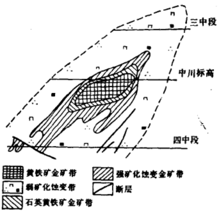


图5-27 某金矿区矿化分带图

（据吉林冶勘公司1979年）

三、矿石结构构造分带

在我国斑岩铜矿床中，有时有明显的矿石结构构造的分带现象。一般说来，在岩体中或接触带附近，特别是面状蚀变发育时，矿石构造主要为细脉浸染状和散点浸染状；向外过渡为细脉状或小脉状、条纹状等。再外为脉状铜矿，脉石矿物为石英、方解石等。但有的矿床，在岩体中和接触带附近主要为细脉状或小脉状矿石，细脉（或星散）浸染状矿石并不发育。通常是，脉状或小脉状矿石组成的铜矿体发育时，浸染型铜矿化便弱，矿体也小；反之细脉浸染和散点浸染的铜矿体发育时，脉型铜矿化便差，矿体规模较大。

宁芜北段铁矿的矿石构造分带也较典型。矿化和矿石类型在空间分布有对称分带和侧向分带两种。对称分带为浸染状→脉状（或网脉状）→角砾状→块状→角砾状→脉状（或网脉状）→浸染状。侧向分带为浸染状→脉状（或网脉状）→角砾状。这一矿化分带是指导施工和找矿的直接标志。

在实际工作中，应将上述三种分带现象结合起来进行研究，若能建立统一的分带，会更有利于预测评价工作。

四、地球化学分带

元素地球化学分带是与矿床同时形成并与矿体有着成因联系，常常出现组分分带与组分集合的现象。研究查明这种地球化学分带特征，有助于确定矿体赋存地段和判断矿床剥蚀程度，可以提高异常评价水平和找矿效果。

地球化学分带，有下列几种：

1. 与矿床相对应的水平分带

金属溶液在沉淀过程中，一部分形成了矿体，另一部分则流渗到围岩中去，造成了矿床四周的原生分散晕。因此，原生晕中的组分特征应保持与矿床中矿石组分的一致性。例如，华

南某锡石-铅锌矿床，在石英斑岩东部，已知盲矿床的接触带上发现了明显的Mo-Mn-Zn-Pb的原生晕，在接触带南端为Mo-Mn晕，向北过渡为Mn-Zn-Pb异常带，再向北则为Pb异常带。这种原生晕的分带与已知盲矿床的分带是符合的：Mo-Mn异常分布范围基本上与含Sn的矽卡岩符合；铅锌矿体主要是产于Mn-Zn-Pb的异常带内；位于Pb带范围内的则是一些较小的铅矿体。河北某矽卡岩铜矿床，地表所发现的异常带与已知盲矿床的分带也是相符合的：B异常带与矽卡岩带有关；Zn、Cu、Co、Ag的异常带与矿化作用有关；主要矿体产在晕中组分较多的B-Zn-Cu-Co-Ag的异常带内。

某大型斑岩铜矿床，岩体为花岗闪长斑岩，围岩为泥盆系安山玢岩，矿体产于石英核两侧。其地球化学分带特点自内向外是：

石英核 Mg、Ag
- 一矿带：Cu、Ag、Mo、Au→Cu、Mo（含量降低）Pb、Zn、As、Hg、F
  $K_2O/Na_2O>1$，$K_2O>3\%$
- 二矿带：Cu、Ag、Au、（Mo）→Cu、Mo（含量降低）Pb、As、Hg、F
  $K_2O/Na_2O>1$，$K_2O>3\%$

Cu、Ag、Mo高含量组合以及$K_2O/Na_2O>1$，$K_2O>3\%$反映了矿体赋存部位，Cu、Ag、Mo中等含量反映了矿化带的范围。

因子分析和趋势分析说明：F_1由Cu、Mo、Ag、F组成，反映了主要成矿元素组合特征，其剩余反映矿体赋存部位；F_2由As、Pb、Hg组成；F_3为Zn，其剩余在矿带周围呈环状断续分布，是远程指示的特征。

2. 同心环状分带

这种分带现象往往出现在单一矿体或矿带四周，不同元素组分作同心式分带。例如，某脉状铅锌矿床发现矿体四周的Pb异常宽10—20m，Ag异常则可达150～200m。西南某花岗岩与大理岩接触带上的锡石-铅锌矿床四周发现Mn异常宽30m，Pb异常宽10m，而Sn则只在矿体邻近处出现几个交点。美国爱达荷州克尔-达冷矿区，是重要的银产地，其主要金属与次要金属，都有明显的分带性。造成这种分带主要与元素的挥发性、活动性，矿物沉淀时溶液的温度，压力及岩性、孔隙率等地质因素有关。一般说来，那些易挥发的活动性较大的元素能分散至晕的外带，而活动性较差的元素则出现在晕的内带。

3. 矿体上、下盘的分带

在东北某铅锌矿区的钻孔原生晕资料中，发现了Pb、Zn、Ag、As、Cd的异常，Pb、Zn和Ag在矿带上、下盘均有异常出现，其异常带的宽度是Ag>Zn>Pb。可是，As异常只出现在矿带下盘，Cd异常只出现在矿带上盘。As和Cd的这种特殊的分布与该区的黄铁矿和铅锌矿化的分布有关。分析单矿物结果，黄铁矿中含As达500ppm左右、不含Ag；铅锌矿石中含As极微、但含Cd。由于该区在主要铅锌矿化之前有黄铁矿化活动，铅锌矿化期使用了与黄铁矿化期的同一通道，并叠置在黄铁矿化的上部，这样就造成了Cd和As在矿带上、下盘有规律的分布。利用这一规律在矿区附近的另一地段的地质评价中提供了地球化学依据，该区地表和钻孔内，发现上部Pb、Zn、Ag、As的异常含量很高，向深处很快降低，均不含Cd，说明了该处地表矿化系矿带尾部，上部矿带已被侵蚀，与钻探结果一致。

И.И.金兹堡曾指出：研究矿石中黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿和毒砂等矿物中的杂质成

分及其比例，有可能作为一种标志，指示矿床深度及风化切割程度。我国某铅锌矿区原生晕的研究结果，发现矿体上、下盘有As、Ag、Pb的异常，Zn和Cu的异常只出现在矿体上盘，范围较小，而Ba的异常只出现在矿体的下盘。无疑地，这种在矿体上、下盘的微迹元素的特殊分布关系，有可能作为预测评价矿体的一种依据。

4. 叠加改造的复杂分带

成矿过程中，由于脉动作用，造成了不同矿化期矿物的相互重叠，并且在空间位置上有一定的关联性。辽宁某铅锌矿床就是一个明显的例子。该区在铅锌成矿期后有石英脉活动，石英脉中含有少量铅和铜（方铅矿细晶及黝铜矿），造成了主要成矿期的Pb异常和Cu异常与后期石英脉中的Pb、Cu异常互相叠置和交错，影响了对含矿断裂带中由主要成矿期所造成的矿异常的辨认。为了消除这一干扰影响，采用了Pb>300ppm、As>80ppm、Cu/Pb<0.2三个条件指标作为评价准则。因为：①石英脉活动地带一般Cu>Pb、Pb含量<300ppm、不含As；②含矿断裂带上一般Pb>Cu、Pb含量>300ppm、有As异常。使用这三个条件指标的结果，清晰地显示出了与矿化有关的异常，有效地找到了盲矿。

研究地球化学分带特征表明，矿床原生晕不但在空间位置上与矿床有着密切关联（主要受构造控制，是外因）；而且，晕中元素的组分分布特征与矿体或矿床有着内在的有机联系。因此，可以认为：研究原生晕中元素组分带状分布特征，并据此规律预测找矿，更具有直接的现实意义。

经验证明，原生晕组分分带明显的，不论是同心环状分带或水平分带，其找矿的地质效果最为显著。在同心环状分带各元素相互重叠的中心部位，往往是盲矿体最有可能产出的位置（要结合构造分析）。在水平分带各元素相互叠置的地方，也往往是盲矿体最有可能产出的部位。根据原生晕的水平分带还有可能了解矿液活动的中心、矿化延伸范围及方向，从而摸索盲矿带延伸的范围和方向，追踪盲矿体，并可大致地推测盲矿体的分带。

在一个具体矿区工作中，必须要求综合研究矿床的各种分带特征，以期获得最佳的预测找矿效果。例如，位于美国西部犹他矿带的宾厄姆铜矿是美国最大的斑岩铜矿，到1976年3月为此，处理了1.3×10⁹t斑岩铜矿石，铜的平均品位为0.9%。该矿床产于晚石炭世宾夕法尼组石英岩、石灰岩和第三纪拉拉米期（38.8Ma）斑岩侵入体中。以宾厄姆二长岩岩株为中心，在约15km²内，有10多个以Pb-Zn矿为主的卫星矿床（图5-28）。宾厄姆铜矿区具有多种矿床分带特征，它们是：(1)矿石分带——从斑岩向外的分带是①Cu、②混合的Pb和Cu、③Pb和Pb-Zn；(2)矿物分带——由内向外是辉钼矿、斑铜矿-黄铜矿、黄铜矿-黄铁矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿；(3)蚀变分带——与矿石分带相应是①石榴石-黄铁矿-镜铁矿-透闪石-含石棉、②透辉石-硅灰石和少量的石榴石以及其它硅化岩石和大理岩化灰岩、③未蚀变的石灰岩；(4)温压分带——岩株中心部位的石英-辉钼矿-黄铜矿脉的包体的温度最高为640～725℃，密度可达1.3kg/m³，外围铅锌矿床的石英和闪锌矿生成的均一温度是294～330℃，包体密度为0.75～0.95kg/m³；(5)同位素分带——中心带黄铁矿的$^{32}S/^{34}S$为22.209，内晕带为22.225，外晕带为22.246。这些分带在空间上都呈同心环状分布，说明它们有一个共同的热源。凡是岩浆-热液作用所能波及到的范围，都有可能形成既有联系又有差别的一系列内生矿床。成矿作用的温压地球化学环境，在现代测试技术前提下是完全可以捕捉的。同心环状分布规律是该矿床系列的总标志。如果应用模式勘查法，就有可能在地质条件类似的地区发现规模较大的新矿床。

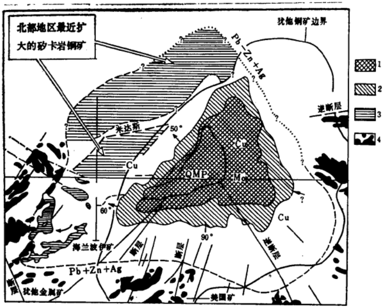


图5-28 宾厄姆矿区金属分带地面投影图

1—浸染状黄铜矿+斑铜矿、辉钼矿、Cu—Mo矿；2—浸染状黄铜矿+黄铁矿、Cu矿；（1和2为露天开采的斑岩铜矿）；3—黄铜矿+黄铁矿+磁铁矿+赤铁矿、矽卡岩中的高品位Cu矿；4—方铅矿+闪锌矿+黄铁矿、石灰岩、石英岩和石英二长岩中的高品位Pb-Zn-Ag矿；（3和4为地下开采的非斑岩铜矿）

第四节 成矿物理化学条件研究

地壳中成矿元素的迁移富集与元素本身特点有关，也与元素所处物理化学环境有关。后者包括温度、压力、矿液浓度、氧化还原电位（Eh）、酸碱度（pH）和生物化学因素等。例如，在内生、外生、变质作用中广泛存在的扩散作用，成矿物质总是从高浓度向低浓度方向运移；在地壳发生断裂造成压力差的条件下，含矿岩浆或含矿气水溶液总是沿着断裂逐渐向压力减少的方向运移；等等。这些影响元素迁移富集的外在因素，无一不在矿物、岩石中留下大量信息，经过搜集、研究，可以为成矿预测工作提供依据。如云南某砂岩铜矿床，矿体产于浅色砂岩与紫色砂岩过渡带的浅色砂岩一侧，含铜岩石紫浅颜色变化是反映沉积成岩条件的标志之一，利用不同形式的铁矿物的相对含量及$Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$的比值变化，可以区分不同的氧化、还原环境，从而指导了该区的找矿评价。

随着同位素地质学、矿物包体成分和温度的研究、成矿实验的广泛开展，这些因素的定量研究得到加强，对深入分析矿床成因机制，探讨成矿规律起了重要作用，并逐步应用于矿区成矿预测中。

一、成矿温度的研究

温度直接影响成矿元素和化合物的物性状态和活动性，随着温度的升降，能加速和减缓化学反应的速度，并引起吸热或放热效应、引起成矿物质的聚集，对矿床的形成起着很大的

作用。

成矿温度的研究，不仅有助于阐明矿床成因，划分成矿阶段，也有利于确定成矿时成矿溶液流动的方向，探寻隐伏矿体。

在同一矿床内，在垂直方向上或在同一水平上，常常显示出成矿温度的分带性（即热晕），这是由于成矿溶液的热扩散而引起的，具体表现为热液矿床周围有规律的等温线，矿床和矿体常位于热晕的中心或一定的温度范围内。用方格网或其它形式，按一定的距离采取样品，用气液包裹体均一法或爆破法测得各点的温度，把相同温度的点连成等温线，即可得热晕图。结合成矿构造的研究，可以推测隐伏矿床（矿体）的可能位置。

英国曾用热晕来寻找热液盲矿体。在圣阿格纳斯—圣得地区的热晕图上，表明一定矿种的矿床常位于一定的温度区间，锡矿、钨矿常在300℃之上，铜矿在200℃之上，而铅矿则在230℃以下。图5-29是苏联肯科尔铅锌矿应用蒸发晕找矿的实例。叶尔马可夫等人认为，在花岗岩中热液蒸发晕的范围大约为50m左右。

在胶东某石英脉型金矿，对分布最广的第一矿化阶段的石英进行系统的测温，做出温度梯度等值线（图5-30），清楚地反映多渠道的矿液是从北东深部向南西方向斜上运移，温度递减，矿液流向与控矿构造、矿柱形态、矿体侧伏都有空间上的联系，从而指导了深部矿体的预测。

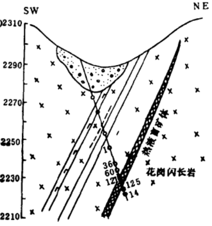


图5-29 苏联肯科尔铅锌矿床蒸发晕图
（图中数字是爆破响声）

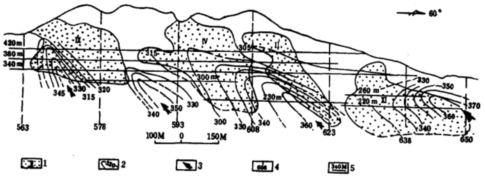


图5-30 成矿温度梯度与矿柱关系

（据王燕 1979年）

1—矿柱及编号；2—温度等值线；3—矿液流动方向；4—勘探线编号；5—坑道水平标高

二、介质的酸碱度（pH）和氧化还原电位（Eh）的研究

介质的酸碱度是元素及化合物溶解和沉淀的主要因素之一。例如，各种金属氢氧化物的沉淀与水溶液的pH值有密切关系。碱金属、碱土金属以及少数几种其它的元素能够保存在普通海水（pH = 8.1～8.3）中，就是因为它们的氢氧化物要在碱性介质（pH = 9～12）中才

能沉淀。在硫化金属矿床的氧化带，当介质的pH≤5时，则不会生成孔雀石、菱锌矿和白铅矿等，因为这些矿物只有在pH≥6时才能沉淀。因此，测定和研究矿物和岩石的pH值，对于了解矿床的成因和形成环境是有实际意义的。

通过对海南石碌铁矿矿物和岩石pH值的系统测定，发现该矿区岩石的最大特点是含矿岩系的pH值都比较高，铁矿的顶底板以白云岩为主，结合铁矿与厚层硬石膏紧密共生等特点，说明该矿床是在气候炎热、蒸发较强的海湾或泻湖环境中沉积的，这种偏碱性的特殊环境，较好地解释了海南岛虽处于地壳的活动地带上而石碌铁矿仍以赤铁矿为主的客观现象，并为火山沉积成因的观点提供了依据，指出石碌式铁矿与古陆的风化无关，找矿空间范围和成矿时代均可扩展和延伸，应着重研究古断裂及古火山带的分布，去寻找新的矿床。

智利艾克索提卡铜矿床是一个类型独特，规模大、品位富、易开采的氧化铜矿床，现已探明铜矿石储量1.7×10^8t，含铜1.5%。根据艾克索提卡矿床分布在紧靠世界最大的斑岩铜矿丘基卡马塔矿床不远的地方，赋存在比丘基卡马塔矿床形成时代(28Ma)还要早的不整合面上下（其上既没有次生淋滤带，其下也没有次生富集带和原生硫化物矿体）以及氧化矿石的性质、矿物组成和丘基卡马塔矿体上部氧化矿石基本相同等特点，通过地质构造和地球化学条件的研究，认为形成这种类型独特的矿床要具备四个条件：①要有规模较大的原生铜矿床，即有较为丰富的物质来源；②原生铜矿形成后的原始地形有一定的高差；③能使原生铜矿石被溶解搬运的物理化学环境（pH＝4）；④具有较好的利于含矿溶液流动和沉淀的场所，如地层的不整合面。并据此得出两点重要的启示：第一，由于斑岩铜矿体上面的氧化带中铜可以被迁移，所以即使在大的斑岩铜矿体上面没有找到次生的氧化矿石带时，并不能完全否定氧化矿石的存在。只要成矿后具有形成氧化矿的有利的古地理、古气候及物理化学条件，仍然可以在铜矿体附近去寻找类似艾克索提卡型的氧化铜矿床。第二，既然斑岩铜矿体上部含铜物质可以被运走，那么当发现有较好的氧化矿石时，虽然有时在其下部并没有发现原生的斑岩铜矿体及其次生富集带，但可以在其附近的有利的构造部位，有浅成斑岩体及强烈蚀变的地方，去寻找原生的斑岩铜矿床。从而扩大了找矿的思路。

氧化还原作用对自然界很多矿物的形成和分解也有很大影响，它也是控制变价元素的分布、迁移、分散或集中的重要因素。因此研究成矿介质的氧化还原电位和含矿岩石的还原性质，对揭示矿床形成机理，发现矿化规律和预测找矿具有重要意义。一般是采用岩石电位落差法，即借助于氧化剂溶液测定岩石的氧化还原容量(电位差ΔEh)。这种方法是由美国帕特诺德、匈牙利的巴尔多什和苏联Л.С.叶弗谢耶娃等先后提出，并在60年代初国外开始用于研究含铀沉积岩的氧化还原性质，探索铀矿富集规律和寻找铀矿床。对于铀来说，由于六价铀和四价铀性质的差异，沉积岩的氧化还原性质对铀矿化的控制也就特别明显。铀含量与岩石的ΔEh值成正相关关系(图5-31)。这个规律尤其明显地出现在不完全氧化带和氧化还原过渡带地段。这种方法在石油普查、铁矿地质、矿物共生和沉积环境等研究工作中均取得一定的成效。

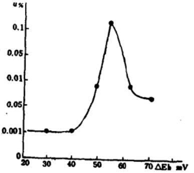


图5-31　四二一〇矿床Ⅱ号段岩石中铀含量与ΔEh值的关系

三、古水文地质分析

探索成矿期地下水分布规律及与此有关的地质作用，对于正确认识许多金属矿床的成因，确定预测它们

的某些标志，有着重要的意义。古水文地质分析要求运用建造分析以及各种后成作用的形成物(如脉状形成物，岩溶形成物)、热液蚀变与交代、液状包裹体、孢子花粉等原始资料，具体再造成矿时地下水的运动方向、化学成分、压力、温度等，并据以阐明矿床形成条件及分布规律。

地下水是地壳的组成部分，大陆范围8～10km深度（自地表起）内地下水的总量平均是岩石质量的3～5%以下。绝大多数金属矿床是在这个深度内形成的，因此地下水不可避免参与了成矿作用。国外不少实例证明，地壳内地下水在热液型、矽卡岩型、黄铁矿型、砂岩型等金属矿床的形成中起到重要作用。

例如，在褶皱区某些铁矿、铅锌矿及其它矿化的构造成矿带，常常分布在以往曾是自流盆地的古泄水区范围内。甚至在构造稳定时期，在自流盆地内由于渗入水的迁移可能形成铀、钒及其它金属的巨大矿床。在自流盆地经受巨大的构造变动，特别是伴有强烈的岩浆活动时、成矿作用最为强烈，地下水温急剧增高，形成大量热咸水及卤水，在盆地下部的断裂带范围内往往产生酸性淋滤等热液蚀变，使地下水富集了各种成矿及成岩元素，当水沿着断裂向地表迁移时，物理化学平衡受到破坏(温度降低、各种气体逸出，酸度降低等)，导致各种化合物(包括金属矿物)自水中析出，形成各种金属矿床。

位于西伯利亚陆台南部的安加拉-伊犁姆铁矿床，处在安加拉-维留依斯及安加拉-卡坦格斯断裂带的交会处，地层主要是由早古生代的总厚达3000～5000m的陆源-碳酸盐岩石及碳酸盐-盐类岩石所组成，在早三叠世有暗色岩的层状侵入体及岩脉。镁磁铁矿的分布主要受区域性断裂带及其有关的暗色岩多次侵入的喷发管道控制，镁磁铁矿热液矿床一般位于最大的断裂带。根据地质、水文地质和古水文地质资料提出：成矿溶液是在构造断裂带当地下卤水向地表潜移时由地下(沉积成因的)卤水与正在冷却着的已结晶的辉绿岩体相互作用而形成的，而地下卤水与早寒武世含盐沉积物有关(图5-32)。断裂及喷发管的大量产生，使得地下卤水强烈排泄。随着向地表的运动，这种含有大量气体(CO_2、H_2、C_NH_{2N+2}、CO、N_2等)的卤水的温度、压力、气体成分、酸度等均发生变化。由于压力急剧下降，一些气体，其中包括CO_2自卤水强烈分逸，导致卤水酸度降低。铁在卤水中积聚是以$FeCl_3$及$FeCl_2$形式出现的。三氯化铁的溶解度与pH值关系很大(当pH为3时Fe^{3+}离子最大可能含量为0.69g/kg，而当pH值为4时仅7×10^{-6}g/kg）。所以，氯化铁这时将离开卤水，转变为不溶的铁的氢氧化物，并容易在还原环境中还原形成磁铁矿：

$$6Fe(OH)_3 + CO = 2Fe_3O_4 + CO_2 + 9H_2O$$

当卤水在断裂带及喷发管中运动，直接与碳酸盐类岩石相互作用时按下列反应同样可以形成磁铁矿：

$$2FeCl_3 + 3CaCO_3 = Fe_2O_3 + 3CO_2 + 3CaCl_2$$

$$3Fe_2O_3 + CO = 2Fe_3O_4 + CO_2$$

因此，安加拉-伊犁姆铁矿的预测准则应该是：断裂带(尤其是大断裂的交会处)，喷发管构造，早寒武世含盐沉积岩以及与磁铁矿化有紧密空间联系的早三叠世的暗色侵入岩。

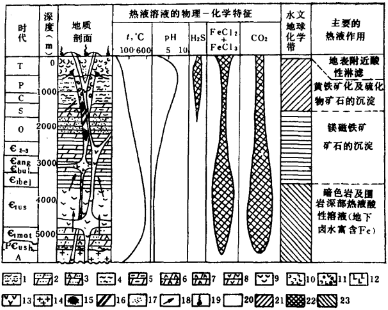


图5-32 安加拉-伊聂姆区磁铁矿矿石形成古水文地质示意图

1—砂—粘土质含煤沉积；2—砂岩与海藻白云岩及泥灰岩夹层互层；3—白云岩、硬石膏（石膏）与砂岩夹层互层；4—粉质岩、泥岩及砂岩有韵律地互层；5—白云质灰岩，主要为红色，常含硬石膏或石膏，带粉质岩、泥岩及砂岩夹层；6—杂色白云质泥灰岩，带硬石膏（石膏）夹层及透镜体；7—白云岩、白云质硬石膏及硬石膏（石膏）互层；8—白云岩、白云质硬石膏及石盐互层；9—石盐、附带白云岩盐类及白云质硬石膏；10—凝灰质岩石；11—火山管道的凝灰岩；12—第一期侵入暗色岩；13—第二期侵入暗色岩；14—基底晶质岩；15—矽卡岩；16—脉状镁磁铁矿矿石；17—硫化物-金属矿化(黄铜矿-磁黄铁矿的矿化)；18—地下水与卤水运动方向；19—泉水文地球化学带；20—酸性硫化氢-二氧化碳硫酸盐-氯化物水及卤水；21—碱性硫化氢-二氧化碳氯化物卤水；22—弱酸性的，渐渐碱化的氢-二氧化碳氯化物卤水；23—酸性的氢-二氧化碳卤水

第五节 物化探在矿区成矿预测中的应用

一、物探在矿区预测中的应用

物探方法可以通过研究地下岩石或矿体所引起的某些物理现象，间接地了解地下地质体的情况，因而常常用来配合地质方法合理有效地指导勘探工程布置、寻找隐伏矿体。目前，在矿区成矿预测中，应用磁法、重力法、激发极化法、联合剖面法等，寻找Fe、Cr、Cu、Co、Pb、Zn、黄铁矿等矿床，已经取得很好的找矿效果。例如：西班牙—葡萄牙古生代黄铁矿带的层控火山成因硫化物矿床，新圈出了约5.0×10^8t矿石储量，其中有1.8亿吨完全是由物探配合地质工作发现的。在该地区，重力法配合各种大地电阻率法，已被证明是普查隐伏硫化物矿体的最有效的方法。

（一）低缓磁异常找矿

过去在如何评价磁异常问题上，曾或多或少受形而上学思想束缚。较长时期以来只是在那些高值异常（极大值大于2000nT）进行找矿勘探，而把那些低值异常（极大值小于1000nT）简单视为"无矿区"。使找矿一直局限在一个狭窄的范围内，思路打不开。近年来，低缓磁异常找矿，取得了显著成效。

以邯邢铁矿为例，该矿床主要是产于中奥陶统钙镁碳酸盐岩与燕山期闪长岩-二长岩类接触带及其附近的矽卡岩型铁矿。这类矿石的特点是一富二磁，所以磁法成为本区有效的找矿手段。经过对岩体、接触带、矿体的深入研究，见矿异常与不见矿异常的对比，以及矿体与异常相互关系的反复探讨，并采用重力、电法、磁法、延拓计算等方法进行试验研究，终于摸索到异常值的高低与矿体埋藏深浅呈反比，与矿体的厚薄成正比的变化关系，同时逐步掌握了矿异常一般具有曲线圆滑、封闭较好、地面与航测资料相比极大值相差倍数较大，地质推断与物探计算基本相符等特征，因而突破低值异常的"禁区"，经钻探验证，先后在极大值800—300nT的低缓异常中发现了中关、白涧等大中型铁矿7处，并使西石门、王汪等3个中小型铁矿扩大为大中型矿床。原认为西石门铁矿区多中心零乱异常是由6个彼此孤立的矿体引起的，经再次勘探证实，实际上是一个走向长达1800m连续矿体（图5-33）。

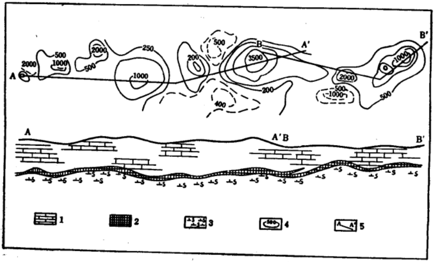


图5-33 西石门铁矿地质磁异常平剖面示意图

（据518队 1973年）

1—灰岩；2—铁矿体；3—中酸性侵入体；4—磁异常；5—剖面

在总结突破低缓磁异常找矿经验的基础上，又根据"高中有低、低中有空"的认识，对邯邢地区历年的物探资料重新审查，在小比例尺图件上找出略有起伏的地区，在大片负值区找高值小区，又发现了一些低缓异常和极大值更低的弱低缓异常；并采用重新选择基点，降低基点值和提高磁测精度的方法，在原来大面积负值区中显示一些清晰突出的弱低缓异常，结果在极大值为120nT的赭山北侧，成功地打到了富铁矿体。

实践证明，低缓异常不仅有矿，而且有规模较大的矿体。在一定条件下，弱低缓异常、负值异常也有矿。大量实际资料，促进了地质认识上的飞跃：①突破火成岩没有底的概念，钻探证实，一般岩体都是呈似层状，不仅在岩体上接触带打到了矿体，而且在岩体下接触带

也见到了大而富的矿体；②突破了一个接触带、一层矿的概念。本区岩体在垂向上主要沿着中奥陶统的三组地层底部的石灰质角砾岩顺层侵入，可能成为三个成矿空间，根据这一认识，在一些老矿区的岩体深部，又发现了一批新矿体；③在煤系地层下面，找到了巨厚的矿体。

伴随着认识上的步步深入，矿区储量大增，使邯邢铁矿较它解放前成百倍增长，矿体成群，异常成带，成为我国重的富铁矿产地之一。

邯邢铁矿区应用磁法找矿的经验，先后为其它地区所采用，结果在山东、山西、湖北、江苏等许多铁矿区都获得了显著效果。安徽白象山—姑山地区根据地质、矿带分布特点，研究本区物探异常，把一系列彼此孤立的低缓异常联成一些异常带，并在异常带内找矿，有了重大突破，许多孤立的低缓异常相继见矿，为该区找矿开辟了新的前景。

云南某铬矿开展了磁法找铬试验，通过1∶1000及1∶2000的地面磁测，共发现异常166个，有希望异常42个，同时根据低缓异常找到了一些砂铬矿。矿体形成的异常一般为200—400nT，最大正负异常差值可达1000nT以上，许多异常正负伴生。从铬矿与围岩的磁性特征分析，铬铁矿一般$Q(Jr/Ji)$值比超基性岩大10多倍，利用这个规律，在超基性岩中用磁法找铬，取得较好的成效。对40多个异常进行地面工程验证，有21个工程见矿，见矿率达50%。

（二）“重磁结合”的找矿效果

苏联库尔斯克铁矿区是目前世界上最大的铁矿区之一。应用重磁测量，综合地质物探成果，在寻找该区富矿中有着十分重要的作用。库尔斯克富铁矿主要是产在古老侵蚀面上含铁石英岩贫铁矿床中的风化淋滤型富铁矿床，它隐伏在厚度不等的覆盖层之下，地表找矿的直接地质标志很少，但铁矿区有明显的磁异常显示。

远在1783年就发现库尔斯克附近有强磁异常，但由于误认为有高磁异常才是富矿所在，特钻孔都布置在高磁异常上，结果在1930年以前打的20几个钻孔中只有1个见到了富矿。

1930年开始对已发现的富铁矿进行重点解剖，并根据富矿石主要是由赤铁矿组成的把点，改变单纯依赖磁法的做法，重点转向测定重力异常，并用钻探验证。结果发现富矿产在有弱磁异常和重力值最大的地方，然后利用这一典型经验指导面上工作，配合航空磁测、地震法、电法等，迅速获得成功，至1976年已查明铁矿储量4.26×10^{10}t，其中富矿2.61×10^{10}t。

我国宁芜地区用重力法配合磁法普查磁铁矿-赤铁矿床，在一定的地形地质条件下区分矿与非矿异常，已被公认为是行之有效的方法。

宁芜地区的已知矿床的矿石主要是磁铁矿和赤铁矿，二者常共生，有时以前者为主，有时以后者为主。由于矿石和围岩之间具有不同的磁性和密度（矿石的密度一般为$3.4kg/m^3$，围岩的密度在$2.1\sim2.8kg/m^3$之间），因此，当存在一定规模的磁铁矿-赤铁矿床时，地表常形成不同形态和强度的磁异常和相应的重力异常。据统计，在用重磁方法普查过的16个已知磁铁矿-赤铁矿床上，有14个是重力异常和磁异常同时出现，其余两个只有磁异常无重力异常。

某铁矿床磁异常（图5-34）早在1956年就已发现，因为异常“不规整”，异常附近有火成岩出露，所以当时推定是火成岩的起伏所引起的。1966年在进行磁测复查的同时，投入了高精度重力剖面测量，在磁异常中心部位（极大值达2010nT）获得2mGal以上的局部重力异常。通过地质观察、岩石物性测定及综合分析以后，推断重磁异常系隐伏磁铁矿体所引起。经钻

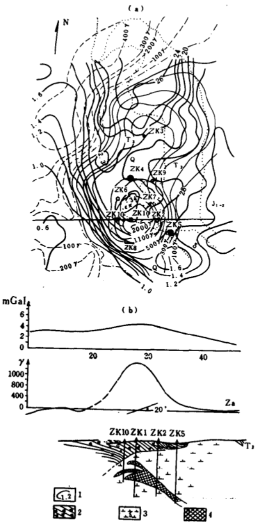


图5-34 某铁矿床重磁异常综合平面及剖面图

（据杨元昭 1973年）

1—局部重力异常；2—黄马青页岩；

3—闪长岩；4—磁铁矿体

探验证，异常中心的CK_1孔于深200—300m之间的黄马青页岩和闪长岩接触带内侧的岩体中，见到总厚度约70m的磁铁矿层，以后对该异常区进行了面积性的重磁测量，在南部又获得数千万吨储量。姑山铁矿，先后用磁法和重力法详查，都发现了异常；磁异常呈多峰值的高磁反映，变化零乱，正负异常相间产出，在其周围异常规律地均匀下降；重力异常则呈规则的似等轴状，面积近$1km^2$，异常极大值达2.2mGal，分布范围与磁异常吻合，经勘探证明，确系一个以富矿为主的大型铁矿床所引起。矿石类型以赤铁矿为主，其次是磁铁矿，主要分布在侵入体内外接触带及其附近的围岩裂隙中，呈不规则的穹窿状。还有吉×、三××等重磁异常的显著找矿效果，都说明"重磁结合"既能找贫铁矿，也能找富铁矿，既能找大铁矿，也能找富而浅的小铁矿。"重磁异常同现"是判断地下磁铁矿-赤铁矿矿化的重要依据。

（三）激发极化法的广泛应用

激发极化法是一种较新的电法探矿法，它是寻找硫化物矿床的有效手段，更是探测浸染状硫化物矿化的理想方法，在地质生产实践中得到广泛应用。

甘肃某铜镍矿区是我国著名的镍矿产地。含矿超基性岩属二辉橄榄岩-辉石橄榄岩型。岩体走向北西，其直接围岩是片岩、片麻岩、大理岩、花岗岩及很少的斜长角闪岩。除斜长角闪岩的磁性稍强之外，其余岩石的磁性均很弱，与超基性岩有明显的差别。围岩与超基性岩的激发极化率相近，为2～3%。矿床属岩浆熔离硫化铜镍矿床。矿体分为富矿体和贫矿体，均赋存于超基性岩底部，产状与岩体一致，在超基性岩中连续分布。矿石中主要矿物成分有镍黄铁矿、紫硫镍铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿。无论富矿体或贫矿体，其磁化率与激发极化率一般均较超基性岩大2～5倍。通过物探（如图5-35所示），在已知矿区外围戈壁滩掩盖地区，发现了2个具有一定规模的新矿体，对扩大矿区远景起了显著作用。工作表明，磁法和激发极化法是寻找这种类型铜镍矿床的主要物探方法，即用磁法圈定超基性岩体，用激发极化法在岩体内寻找矿体。

又如，某含铜黄铁矿矿区，矿体产在闪长岩和大理岩的接触带中。在开展了磁法和铜量测量的基础上，进行激发极化法的探测工作（$AB=600m$、$M_N=20m$），发现一近于马蹄形

的激电异常，其东南部与磁异常（1000nT）、铜量异常（600ppm）重合，当时推断为含铜矽卡岩的反映。因此，布置ZK33孔验证异常，打到厚97m的黄铁矿体（图5-36），并有达到工业品位的铜、钴伴生，矿体埋深72m。后来在孔内做了激电测深，明显地反映地下有高极化体（矿体）存在。视电阻率曲线却没有得到矿化显示。

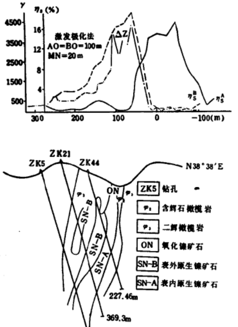


图5-35　某铜镍矿区激电异常剖面图

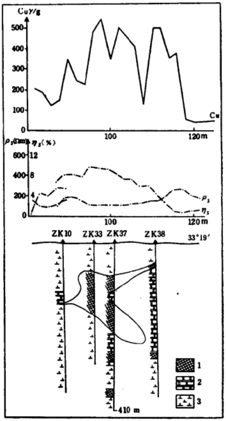


图5-36　某含铜黄铁矿床激电异常剖面图

（据湖北物探队　1973年）

1—含铜黄铁矿；2—大理石；3—闪长岩

（四）地下物探的重要意义

利用钻孔和坑道投入不同的物探方法，寻找它周围的盲矿体，称为地下物探。主要方法有井中磁测，井中激电、井中无线电波透视、井中地热、井中地震和井中重力等。后两种方法目前只用于石油和煤田钻井。广义地说，包括测井，其方法有视电阻率法、自然电位法、极化率、磁化率、核物理方法等。

由于地表及浅部矿床大量的被勘探，找矿难度越来越大。因而许多国家积极从事地下物探方法理论的研究。苏联1971年有500个测井队，1973年增至1000个，并配有地下物探队100个。固体矿产测井工作量占物探工作量的18%。金属矿测井各方面之间的比例为：电测井55%，核物理测井35—40%，磁测井5—7%。

苏联伊尔宾铁矿床赋存于伊尔宾地块的侵入岩和寒武纪火山-沉积岩的巨大残留体的接触带中。侵入体为闪长岩和花岗正长岩，交代过程的产物形成矽卡岩带。矿石呈斑状结构，

具块状、斑点状、带状和角砾状构造。物探资料综合分析表明，所计算的勘探矿体的磁场接近于在地表测得的磁场。因此，未观测到新矿带产生的磁效应。为了评价该矿床的规模，使用了井下磁测资料，以某些钻孔的磁异常强度资料作为推断解释的依据。强矢量扇形与磁场强度负异常相对应。根据矢量扇形还可以测定新矿体相对于钻孔的空间位置(图5-37)。根据物探建议补打的钻孔，圈定了强异常反映的异常体，随后在该地段揭露出矿体。钻井物探结果，对伊尔宾矿山深达1000m范围的工业地区作出预测评价起了很大作用，加速了对工业矿体的勘探，而没有增加额外的投资。

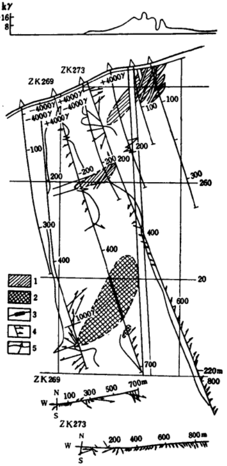


图5-37 伊尔宾矿床第41勘探线剖面

（据П.Д.里亚宾诺夫）

1—根据地质资料圈定的矿体；2—根据物探资料圈定的矿体；3—钻孔打到的矿体；4—矢量图；5—勘探线平面的钻孔

我国地下物探工作亦取得了显著效果。现已开展单、三分量磁测井、磁化率测井、无线电波透视、X荧光及中子活化等测井方法。磁测井和常规测井方法所用仪器均已定型，现已做到一次下井，能获得多种参数，三分量磁测井能自动记录。

井中磁测找矿效果最好。根据井中磁测的异常布设钻孔或加深原设计钻孔，都有许多见矿的实例。如山东的几个矿区，配合研究地表磁异常指导找矿、预报钻孔下部有矿、预示矿体尖灭再现、指出钻探打漏的矿层，了解钻探井下事故发生的位置，都发挥了很好的作用；

洪范地区有一个普查孔，当初预计最深300m见矿，钻孔中打到近370m还未见矿，是停钻还是再加深钻进？在举棋难定的时候，井中磁测获得很好异常，经分析认为在400m左右能见到矿，建议继续钻进，结果在402m见到近40m的铁矿；

顾家台磁异常经一批钻孔验证后，已基本上控制了矿体产状和规模，按原设计$2CK_4$孔应是打在矿体尖灭部位，但井中磁测得到很好的异常，经分析认为在$2CK_4$孔北侧有新的矿体或者已经向下延伸变大，再设计$2CK_7$孔，在预计深度见到20多米厚的铁矿。

张家洼矿区11—3孔，在461—475m井段已见矿，井中磁测有很好的异常反映，但在448—453m井段还有一个异常，认为也应是铁矿所引起的。对比钻探岩芯发现磁异常正处在钻探上下取岩芯的交界部位，后经钻孔补取岩芯，证实448.75—454.40m井段为磁铁矿层，扩大了矿体储量。

某铁矿床在地磁异常中心打ZK81孔(图5-38)，揭露主矿体后，接着布置ZK85、ZK83钻孔控制矿尾，但施工均未见矿。经过ZK85、ZK83孔井中磁测，却获得了复合ΔZ异常，

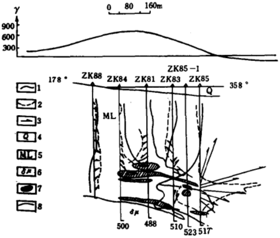


图5-38 某铁矿床物探地质综合剖面图

1—ΔZ； 模数比例尺； 5—灰岩；
2—ΔH； 6—闪长玢岩；
3—$\Delta \vec{T}'$； 7500r/cm； 7—磁铁矿体；
4—第四系； 8—地质界线

具有"S"形特征，且梯度很大。经ZK85-1孔验证，在350m以下的预定深度打到了厚46m的磁铁矿。

由此可见，地下物探对扩大找矿效果、探寻盲矿等方面，具有重要意义。当已知矿区和外围，有大量的钻孔和坑道时，充分利用这些空间投入地下物探来预测找矿，对老区能为扩大矿区远景提供可贵资料，对新区可大大缩短勘探周期。进一步改善和发展地下物探工作很有必要。

二、化探在矿区预测中的应用

地球化学探矿方法不仅在矿产普查中能起战略侦察作用，而且在矿产预测评价中也日益显示出重要的作用。在矿区成矿预测中，岩石地球化学测量、土壤地球化学测量以及水系沉积物地球化学测量，对于探测Cu、Pb、Zn、Sb、Hg、Cr、Ni、Co、Au、Ag等矿产，都取得了较好的效果。

（一）岩石地球化学测量的应用

岩石地球化学找矿最直接的目的是通过发现局部异常和查明矿床原生晕，进而寻找盲矿体。原生晕中目前应用和研究较多的，是与热液矿体有关的原生晕。原生晕在空间分布上常和矿体紧密联系，规模比矿体大，有时可以沿着控矿构造方向延伸很远。根据原生晕可寻找深部数十米至数百米的矿体。此外，通过研究晕的分带性，可以确定剥蚀程度；研究晕的组分特征，可以预测矿石类型；研究原生晕的形成机理，可以预测深部矿化规模。

岩石地球化学测量所适用的矿产类型比较广泛（表5-1）。例如对寻找斑岩型铜（钼）矿床，原生晕方法被普遍认为是一种基本手段。在美国，开展以Cu、As、P等为指示元素的原生晕测量，曾找到一些斑岩铜矿床。这些矿床的指示元素及其分带序列，一般自外（上）至

表5-1 各种矿床原生晕前缘及尾部元素

（据谢学锦综合别乌斯与格里戈良资料）

矿 种	前 缘 元 素	主要成矿元素	尾 部 元 素
多金属矿床	Ba、As、Sb、Ag、Cd	Pb、Zn、Cu	Bi、Co、W、Mo、Sn、(Ba、Ni)
铜 矿 床	Ba、As、Sb、Ag、Pb、Zn	Cu	Bi、Co、W、Sn、Mo、(Be、Ni)
铀 矿 床	Ag、Pb、Zn、Cu、Mo	U	
汞 矿 床	As、Sb、Ba	Hg	Ag、Pb、Zn、Cu、(Mo、W、Co、Ni)
锡钨钼矿床	As、Sb、Ag、Pb、Zn	Sn、W、Mo	Cu、Bi、Co
金 矿 床	Ag、Hg、As、Sb、Pb、Zn	Au	Mo、Cu、Bi、(Co、Be、Ni、W)

内(下)为：Ba—As—Sb—(Ag、Pb、Zn)—Au—Bi(Cu、Mo)—(Sn、Co、W、Be)，中程指示元素有Mn、Re、Pb、Cs，远程指示元素有F、B、Hg等，常量元素S、P、K、Na也用作指示元素。

岩石地球化学测量法除广泛用来寻找金属硫化物、贵金属、稀有金属矿床外，近年来，在我国还开展了寻找内生成因的铁矿和非金属矿产的实验工作。贵州某菱铁矿(伴生有铅锌矿)矿床，就是以原生晕作为有效的找矿标志：前缘晕——Mn、As、Zn达到异常下限，Pb/Mn<5；近矿晕——Mn、As、Zn增强，Pb呈鞍状，Pb/Mn<1；尾晕：Cu晕增强。菱铁矿和铅锌矿的岩石地球化学特征相比，后者是Pb、Zn、As、Cu晕发育，而Mn晕不发育，也没有Cr晕，Pb/Mo比值高，伴有Ag、Ga、Ge、Sb等元素。菱铁矿与黄铁矿的岩石地球化学特征相比，后者As>100ppm，Zn≈20ppm，并常有Ni、Sb、Sn、Ge等元素，而前者As<100ppm，Zn>70ppm。

在岩石地球化学测量详查工作中，广泛采用了元素比值。例如，对含金石英脉，多金属矿、块状硫化矿周围的原生蚀变晕中，其K_2O/Na_2O比值向着矿体的方向逐渐增大，可据以圈定蚀变带和矿化带；在有钠长石化时，情况相反。对于某些多金属硫化矿和含金石英脉矿床，围岩是富含Ca-Fe-Mg-Mn的硅酸盐岩石(如绿岩)且经受碳酸盐化时，SiO_2/CO_2比值顺着趋近矿体方向减少。青城子铅锌矿原生晕异常评价中，采用了Cu/Pb比值，若比值小，反映主要成矿阶段地球化学特点，若比值大，则是晚期热液阶段的特点。河南某铁铜矿床用Ag/Cu、Mo/Cu、Zn/Cu等比值，判断剥蚀程度，认为Ag/Cu比值高、Mo/Cu比值低是剥蚀程度浅的标志，说明剥蚀面位于Cu矿体的上部；Ag/Cu比值低，Mo/Cu比值高，是剥蚀程度中等的标志，说明剥蚀面位于铜矿床尾部；Mn/Cu比值低，Zn/Cu比值高，说明铁矿体也已经被剥蚀。

在湘西金、锑、钨矿带，岩石地球化学测量是主要找矿方法之一。指示元素有As、Sb、S、Hg、Cu等。砷是区内Au、Sb、W成矿作用的一种主要伴生元素，其化学活动性仅次于汞，在区内不同岩石中清晰度高，常作为主要指示元素。原生异常对含矿破碎带具有明显的指示性，当指示元素与有用元素呈正相关(γ>0.5)时，指示元素的含量变化可相应地指示有用矿物含量的变化，因此，被作为成矿预测的标志之一。以符竹溪金锑矿区水山溪矿段为例(图5-39)，地表共圈出4个主要异常，宽6～80m，长100～900m，呈北西向排列，与含矿破碎带方向一致，位置吻合。异常中矿化系数

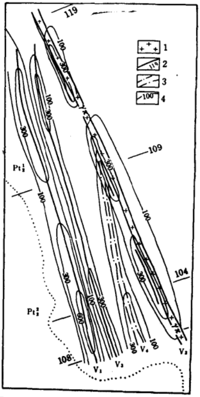


图5-39 符竹溪金锑矿床砷晕等值平面图

(据罗献材等 1974年)

Pt_2^1--马底驿组紫红色板岩、黄绿色砂质板岩；Pt_2^2—五强溪组石英砂岩；1—花岗斑岩($\gamma\pi$)；2—含矿破碎带及其编号；3—蚀变带；4—砷量等值线(ppm)

85～90%，晕中含量按一定频率变化，平均值高达328ppm。据1、2号脉15个脉壁断层泥的分析，1号脉断层泥各元素的平均含量：As——620ppm，Au——4.2ppm，S——2.9%；2号脉：As——325ppm，Au——2.1ppm，S——0.34%，说明断裂构造对成矿的密切控制作用。砷与黄铁矿化、硅化、退色化关系密切，在蚀变带中砷含量一般高于100ppm，据砷异常可大致确定与成矿有关的蚀变带的位置。根据314个试样计算，As、S与矿化的关系是，砷金与硫金之间的相关系(γ)分别为0.62和0.53，均属正相关。当砷含量175ppm，S>0.3%时，为Au的矿化晕(含金量在1—2ppm)；当As含量>350ppm，S>0.6%时，含Au量在2ppm以上。原生晕在垂直方向也呈有规律的变化，砷含量随深度增加而增高，间接反映金锑矿化增强。通过原生晕测量，完全肯定了本矿段的工业价值。

有的矿区，基岩出露较好，可以应用构造原生晕来圈定矿化地段寻找盲矿体。云南某多金属矿区，用裂隙法采集样品5万余个，获得290多个异常，圈定了矿化带，有的异常找到了矿体。该区断裂中原生晕发育，与矿体的形成有内在联系。有些断裂是多期矿液活动通道，原生晕元素组分比较复杂。原生晕形态一般表现为线状，当裂隙密集发育时，晕呈带状。在白云岩中，因孔隙度较大，元素扩散条件较好，原生晕发育。晕的分带(从中心向外依次为Sn、Cu、W或Sn、Cu、As-Sn、Pb、Zn-Pb、Zn-Mn)与矿化分带的特征相似。利用Sn、Cu、Pb元素的集中富集或Pb、Cu元素的集中富集，能够较好地圈定矿化有利地段，并对进一步寻找盲矿体提供了依据。根据前尾晕特征，对评价矿体延伸起了一定的作用。在此前提下，依据不同元素的晕型，指示不同矿种的矿体，其规律如下(表5-2)。

表5-2

晕型	主要元素组合	特征元素	指示矿体
锡型	Sn、Pb、Cu、Mo	Sn、Mo	锡
锡、铜、砷型	Sn、Cu、As、Bi、Pb、Mo	Bi、As	以锡为主综合矿体
锡、铅、锌型	Sn、Pb、Zn、Cu、In、Cd、Sb	In(Sb)、Cd	锡、铅综合矿体
铅、锌型	Pb、Zn、Ag、Cd、Sb、Sn	Cd、Sb、Ag	铅矿体

钻孔原生晕的找矿效果，已经引起人们重视。在鄂东某铜矿床，银、铋、锌、砷4种指示元素虽然沿矿体上下盘活动范围比较狭窄，但沿矿体的顶端或侧方，则形成往往超过矿体范围的头晕或侧晕(图5-40)。其中砷晕只出现于矿体的上方，因此，当Ag、Bi、Zn、As都出现异常时，说明有盲矿体存在于异常的下部；当只有Ag、Bi、Zn异常出现，一般盲矿体将出现于异常的侧方。

值得指出，测定某种矿物中的微量元素可以清晰地发现异常。例如，岩体黑云母中含铜量的高低常与该区产铜量的大小成正比关系；根据易分散元素的晕，能普查埋藏较深的矿体，例如，苏联亚美尼亚多金属矿床的盲矿体上方有碘的分散晕。碘晕大致圈定了这个矿体的边界。在矿体上方碘的含量在0.8—3.2μg/g之间起伏，而在矿体边缘则不到0.72μg/g。

（二）土壤测量的应用

多年来的生产实践证明，利用土壤地球化学测量，对寻找松散层覆盖下的矿体是一种有效的方法。在普查找矿和矿区评价中都广为应用。有时也可以间接指导找盲矿。研究次生晕的分布特征，可以预测矿床或矿石类型。研究次生晕中元素的异常含量，也可以大致预测矿化规模。

土壤地球化学测量是寻找斑岩铜矿的一种重要常规方法。分散流普查圈出远景区后，次

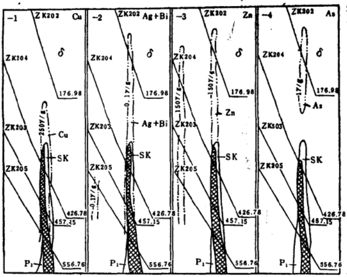


图5-40　某铜矿区20线钻孔原生晕元素对比图

δ—闪长岩；P_1—大理岩；SK—矽卡岩

生晕详查可圈出矿化范围，配合少量原生晕工作，结合地质特征综合分析，对异常作出初步评价，可为工程设计提供依据，在一些地区取得找隐伏矿体和盲矿体的良好效果。

例如，云南马厂箐铜矿床，根据次生晕圈出沿岩体内外接触带展布的Cu、Co、W异常，确定了Cu异常范围内有Mo、W异常，而铜异常宽度大于Mo、W是有盲矿体的标志；反之，Mo、W异常宽度大于铜异常且铜含量大于3000ppm时，表明是延伸不大的表层矿体；如果铜异常浓度小于3000ppm，则系地表矿化或淋滤带下有隐伏小矿体；若地表异常为Cu、Ag组合，Mo、W出现点异常，而Ag浓度≥1ppm，说明深部有盲矿体存在；按上述地球化学标志结合物探资料以及地质条件选出19个异常，钻探结果均已不同程度见到矿体。甘肃太阳山次生晕的化探找矿标志是异常组合为Cu、Mo、Pb、Zn、Ag、As，铜含量在200ppm以上，异常呈环状或半环状分布于含矿岩体接触带及火山筒周围；结合物探激电异常与地质条件对异常作出评价，布置了16个钻孔，其中10个孔不同程度见到铜（钼）矿体，3个孔见到富集矿化；只是在地表为黄土或第三系红层覆盖时，次生晕效果不好。安徽沙溪地区根据Cu异常强度≥4000ppm，同时有Mo、Ag异常出现，以及Cu异常连续性好，浓度梯度变化明显、且有一定规模等标志，结合地质条件对异常作出评价，已打18个孔，见矿率(盲矿体)达88%。

湖南太平铅锌矿区的地表大部分为第四系所覆盖，铅锌矿赋存于棋梓桥组(D_2^2g)白云岩NW-SE向的层间破碎带中，矿化呈浸染状、块状、细脉状及环带状分布。铅锌氧化率一般达40%以上。氧化矿的上部黑土层中常赋存有数米厚的次生堆积矿，可作为找矿标志层。在开展次生晕测量后，确定Pb的异常下限为300r/g，圈定了两个异常区。一个是已知矿点上的高值（300—10000ppm）异常，另一个是新发现的低级（300—500ppm）异常（图5-41）。经分析，新发现异常虽

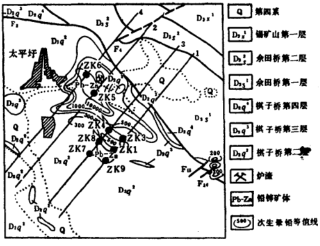


图5-41　太平铅锌矿区地质平面略图

（据238地质队）

然范围、强度比较小，但形态规整，地表没有干扰，异常又处于棋梓桥组白云岩层位中，推测为隐伏矿体的残积、坡积晕所引起。首先用井探揭露，在14.6m处发现了铅锌矿体，后用CK3、CK4等钻孔追索，求得铅锌储量3万多吨，成为一个小而富的铅锌矿区。

矿床次生晕的物质来自矿体及其原生晕，矿床及原生晕均有分带现象，次生晕也会具有分带性。研究其分带特点，可以预测矿床、矿石类型。次生晕的分布特征，常常是矿体（或矿带）空间分布格式的反映。例如在广东某钨矿带开展次生晕钨量测量，富集颗粒度为0.3～1mm，钨的背景值为5ppm，异常下限值120ppm。在两个已知矿山外围找到了新的矿带（矿体），扩大了矿床规模，并通过次生晕形态的分析，应用已掌握的成晕特征结合地质规律，对新找到的矿化脉带的空间分布格式进行了推测，认为是多组矿脉成左行侧幕式产出（图5-42），后经地质评价证明推断是正确的，从而为研究成矿特征提供了新资料。

（三）水系沉积物测量方法的应用

前已提到，水系沉积物测量主要用在区域预测找矿，圈定可能有矿床存在的远景区。但是有时也可用于矿区预测找矿，根据所发现的矿床分散流配合其它方法，进一步找出矿床。

水系沉积物测量常用于下列矿产的普查评价：Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Cr、Ni、Hg、Sb、Au、Ag、P等。例如，陕南某多金属矿床及其外围开展分散流找矿，选择Cu、Pb作为指示元素，发现了新的矿化异常，在推测的异常源地段，投入剖面次生晕和槽探工程，找到两个数百米长的工业矿体，使一个只有几万吨矿量的小型矿床有望发展成几十万吨的大型矿床。近年来，对找Nb、Ta、Be等稀有金属也取得了一定效果。

在北苏格兰探测被冰碛物或冰水沉积物所掩埋的多金属和铀矿化中，应用分散流法采集溪流沉积物样品，分析U、Pb含量，配合伽玛测量和水化学法，起到了指导找矿的作用。

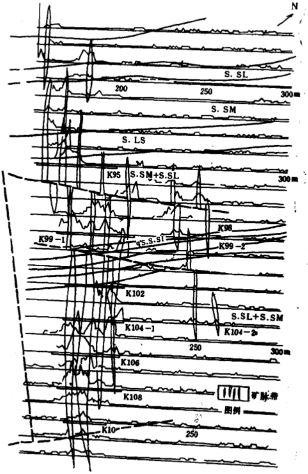


图5-42 某钨矿带次生晕异常平面图
（据940地质队）

S、SL＋S、SM—砂质板岩夹石英砂岩；
S、SM＋S、SF-石英砂岩夹砂质板岩；
qS、SL-石英砂岩与硅质板岩；
S、SM-石英砂岩；
S、LS-条带状砂质板岩；
S、SL-砂质板岩

水系沉积物中一些化学性质活泼的元素能形成分散流，这早已被证实。另一些元素化学性质比较稳定，如Au、Hg，也能成分散流（机械分散流），同样可以获得良好的地质找矿效果。

鄂西某地金矿，系产于前震旦纪黑云母石英闪长岩中的含金石英脉或细脉带。在开展了水系重砂测量没有取得找矿实效的情况下，应用分散流法取得了十分满意的结果。在金矿脉中出现异常含量的元素是：Cu、Ag、Pb、Zn、Mo、Bi。就异常强度而言，Cu是Au的主要伴生元素，铜的高含量往往与Au的高含量同时出现，在含金量大于6g/t时，Cu量一般高达400～800ppm，但铜金之间并无十分明显的共消长关系（相关系数0.3）。Pb、As、Ag的异常强度次之，Mo、Bi、Zn则更次。矿脉中含砷量虽低，但由于共同的亲铁性，导致了矿脉中金砷之间有较好的正相关性。图5-43是幸福1号金矿脉Au、As、Pb量纵剖面图。由图可见，脉体中砷量一般为5—7ppm，Au、As曲线呈大致的共消长关系，铅异常主要出现在脉体的中段。矿区内，黄铁矿化石英脉和黄铁矿化金矿脉，均含有大致相当的微量砷，因此，分散流中弱（2～4ppm）砷异常，并不是指示脉金的唯一标志，只有当砷异常中又同时叠加有弱铅异常时，才是脉金存在的可靠标志。如图5-44，在矿脉上方水系中，砷1～1.5ppm，

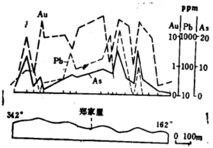


图5-43 幸福1号金矿脉地球化学纵剖面图

（据湖北七队）

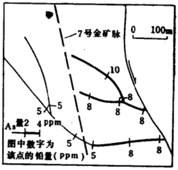


图5-44 过河口7号金矿脉南端砷铅分散流平面图

（据湖北七队）

铅5ppm，而在脉体下方水系中，砷2.5～3.5ppm，铅8～10ppm，即砷量增高1～2倍，铅量增高0.6倍，在矿脉下方水系中构成了一个砷及微弱的铅异常。砷铅组合异常沿水系可延伸达200m以上，因而可用分散流法有效地发现金矿脉。在该地区，先后用此法发现有意义的金矿脉达6条之多。

第六节 矿区预测中的评价与验证

一、矿区成矿预测中的地质评价

矿区成矿预测的基本任务在于发现隐伏的矿床（体）。矿床（体）形成和赋存的地质规律往往是复杂的，评价和预测时，必须要有充分的依据，要从各个侧面进行研究，从复杂的现象中得出符合实际的规律性认识。要尽可能多地占有与矿床有关的地质资料和矿化信息，给予正确的分析和评价，而这种分析和评价是有效预测的基础。

为了搞好评价预测工作，应当以正确适用的找矿理论作指导，综合分析各种控矿因素，综合运用各种方法手段的成果，而且应对新矿种和新矿床类型的发现，给予高度的重视。

（一）用正确的找矿理论指导地质评价

不少老矿区，运用正确适用的找矿理论对矿床分布规律和矿床成因深入研究，重新认识，从而在外围或深部找到了新矿床（体）。美国亨德逊斑岩钼矿床的发现是有代表性的。它位于世界最大钼矿克莱麦克斯矿区内，距生产区段仅30km，是埋藏在地表以下1000m的盲矿床。50年来地质研究和找矿工作一直受“一次成矿论”的观点支配，认为该矿是由一次大的岩浆侵入活动而形成的单一矿床。

该矿经过近10年的矿山地质综合研究，在成矿理论上总结出一个“多期-多阶段成矿”模式，提出了新的成矿观点，即矿床是多期-多阶段形成的。有四次岩浆侵入，其中三次伴随成矿作用，第四次侵入无矿。因而形成自上而下3个矿带，即：彩列斯科矿带，上部矿带和下部矿带。每个矿带都是在侵入体顶部呈不规则圆帽状。后来根据在亨德逊矿床附近的地表发现的小矿点和岩脉中含钼异常以及与老矿区相同的围岩蚀变，运用克莱麦克斯成矿模式进行分析对比，认为该处地质成矿条件与老矿床十分相似，推测深部可能有隐伏矿床存在，结果打了第一个钻孔就发现了亨德逊矿床。已探明钼矿储量3亿多吨（品位0.4%），使美国钼矿储量猛增40%。

我国海南石碌富铁矿发现于1935年，解放后三次对该区进行大规模地质勘探工作，探明了大量富铁矿和Co、Cu等其它金属，使石碌铁矿成为我国富铁矿石主要产地之一。但是，对于我国特有的这一类大型富铁矿的成因认识，一直存在争议。近年来，突破“矽卡岩矿床”的早先观点，提出本区铁矿属于沉积变质热液改造成因，铁矿形成具有远源火山沉积，变质叠加、褶皱加厚等特征，并提出如下的新认识：①沿层找矿：过去认为矿床属于“矽卡岩型”，找矿主要沿岩体与围岩接触带去找，根据矿体层位稳定，与地层整合接触，并与地层呈同步褶皱等特点，认为矿体主要受地层控制(产于碳酸盐岩向碎屑岩过渡部位)，因此，应沿着地层的走向和倾向去预测和追索新的矿体。②铁硅建造控制矿体分布：石碌含矿岩系具有铁硅建造特点，据此结合物探异常，可以圈定远景区。③热液作用对铁矿富集起重要作用，铁矿体主要位于东西向和北东向构造复合部位，含矿层中富含重晶石，钡含量平均为千分之几，较远矿围岩中高一个数量等级，可作为找矿标志。这些新认识，为在本矿区扩大储量及在整个海南地区找石碌式富铁矿打开了新的思路。通过钻探验证，在矿区主矿体北一矿东部两侧，见到厚20～43m的富矿体，并在外围坡木岭—军营岭一带圈定了新的远景区。

我国湘西黔东的汞矿的评价工作，也经历了由岩浆期后低温热液矿床到沉积-地下水热液矿床的重新认识过程。现在认为，成矿分为两个阶段：第一阶段，汞在古海湾中的浅海滨海相（离海岸线0～15km范围内）的碳酸盐岩层里初步富集；第二阶段，受地下水热液再造，在有利的岩石和构造里最终聚集成汞矿床。这种新认识，有力地促进了这个地区的找矿预测工作。

总之，在地质研究程度相对较高，已知矿床（体）分布较多的地区和矿区，正确的找矿理论，对预测找寻新盲矿床（体）起了相当重要的作用。当然也不能忽视方法（尤其是近代方法）的作用，只有两者紧密配合才能更有成效。

（二）控矿因素的综合分析

成矿控制因素是多方面的。不同成因类型的矿床，成矿控制因素有差别。成矿预测时，应注意结合本矿区的矿床成因特点，抓住对矿床形成起主要控制作用的地质因素，综合分析。要重点深入，点面结合才能获得较好的效果。

以铜矿为例。评价矽卡岩型铜矿床，侧重于岩体的岩石类型、接触面的形态产状以及侵

入体围岩的岩性和构造特征的研究。多数矽卡岩型矿床，成矿有关岩体呈现为复杂形状的岩株，岩株接触面的凹凸变化对成矿有利。在预测和追索盲矿体时，详细研究岩体的形态和接触面产状变化，具有重要意义。

评价砂岩型铜矿床，侧重于对含矿地层的岩相、古地理环境进行深入的研究，分析沉积环境和成矿物质来源，了解沉积盆地的微地形、古气候、古水动力、氧化还原环境等对矿化局部富集的控制作用。为了预测和追索矿层，要详细研究沉积岩相和含矿层物质成分的变化。如滇中砂岩型铜矿属于内陆湖相沉积成因，成矿物质在湖缘凹地的弱还原环境中富集。在凹地基底地形较缓的条件下，成矿的相带宽度大，矿床规模也大；如果基底地形陡，成矿相带就窄，矿床规模小或无矿。矿层位于紫色砂岩与浅色砂岩的交互带，并随着氧化还原强度的变化，矿层附近出现金属矿物的分带现象。在矿区评价工作中，确定紫色和浅色砂岩交互带的范围，结合矿物分带的研究，就能预测盲矿体。某矿区就是运用这些规律，指导钻孔布置，结果把原来认为是孤立存在的四个矿体露头，联成了一个长达11km的矿带，从而肯定了矿区的工业价值。当然，不是所有的浅、紫色过渡带上都有矿，要作具体分析。评价老变质岩铜矿床，侧重于含矿岩石特征及变质程度的研究。矿床的特点与变质深度有关。并要研究控矿构造（矿体常分布在背斜轴部）以及与矿体空间分布关系密切的中—基性岩浆岩。矿床与一定层位、一定岩性有关。沿一定岩性和层位找矿，在一些已知矿区附近均已获得显著效果。

评价火山岩型铜矿床，侧重于火山岩的岩性、岩相以及构造条件的研究。例如，祁连山、秦岭—龙门山一带的中酸性火山凝灰岩中的铜矿，与海底喷发的钠质火山岩系有关，含矿岩系分异完全；矿床位于古火山喷发中心附近；矿床大体沿着石英角斑凝灰岩或角斑凝灰岩层发育；矿化带内蚀变强烈，形成宽三、四十米至三、四百米，长几百至几千米的无长石蚀变带，是很好的找矿标志。并可根据蚀变强弱的不同，预测矿床的类型。含铜黄铁矿矿床的特点是无长石带中浅色绿泥石化强烈发育；含铜多金属矿床的特点是无长石带中浅色绿泥石化微弱；不含铜的黄铁矿矿床的特点是无长石带中几乎看不到绿泥石。

评价斑岩铜矿床，侧重于岩体、蚀变、矿化类型的研究。斑岩铜矿化与浅成-超浅成中-酸性小侵入体密切共生；热液蚀变属K^{1+}、Si^{4+}、$(OH)^{1-}$交代型，并具有一定的蚀变分带性；矿化属铁、铜（钼）硫化物为主体的硫铁型组合，主要呈细脉浸染状产出，金属元素组合，矿物组合、矿石结构构造在空间和时间上有明显分带。评价斑岩铜矿床的主要因素可归纳为“三晕一体”，即蚀变晕、矿化晕、扩散晕和斑岩体。

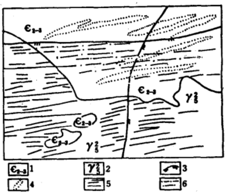


图5-45 某钨矿区变质岩覆盖下的花岗岩内的盲脉

1—寒武纪变质岩，2—燕山花岗岩，3—断裂，4—盲矿体，5—矿脉，6-—云母、石英细脉

在钨矿区的评价预测中，加强以构造为主的综合分析，是扩大资源远景的重要途径。如赣南某钨矿区（图5-45）为一产于花岗岩株中的大脉型钨矿。岩体东、西、北三面均与寒武系浅变质岩接触。经多年开采，该矿面临如何评价变质岩覆盖下的花岗岩的含矿性是紧迫的课题。1973年，在深入研究矿区北部变质岩区成矿构造的基础上，综合提出：①该区位于东

西构造与北东构造交叉部位，成矿裂隙发育；②岩体已由南、西二面倾伏进入该区之下；③矿区表露矿脉有向东侧伏的规律；④邻近接触带的花岗岩中尚有大量工业矿脉，其剖面侧列及走向倾伏均对应进入变质岩区；⑤变质岩中有云母石英细脉发育。由此确定在该区变质岩覆盖之下应有岩体和矿体隐伏，于是布置坑探，终于探明了大批盲脉，储量超过原勘探的总和，延长矿山服务年限10多年。

可以认为，根据不同成因矿床的具体特点，抓住主要控矿因素，进行综合分析，才能对矿区远景作出正确的估量。万山汞矿，经过20多年普查勘探实践和不断研究，才比较成功地找到几条预测找矿依据，即：地质构造控矿的分级性；地层岩石容矿的相对选择性；含矿层古地理聚矿的制约性；围岩蚀变分布的有序性；成矿的空间等距性。其中，以构造控矿因素为主导因素。综合运用这些预测依据，在该矿区取得了明显的找矿效果，矿区范围扩大近十倍。可见，确定准确而有效的找矿评价标志，是很重要的。而找矿评价标志的可靠性取决于矿床地质的研究程度。

（三）综合运用新技术新方法的成果

目前，在矿区内及其附近找到露头矿和浅部矿床的机会愈来愈少，找矿的主要对象是隐伏矿、半隐伏矿。根据这个特点，矿区成矿预测工作，必须以地质为基础，综合运用物化探等手段成果，在有条件的地方，也要综合利用数学地质、同位素地质和矿物包裹体测试等新方法新技术，以提高矿产预测水平。

加拿大诺兰达是个有50多年开采历史的老矿区，多金属矿床成群产出，该矿区重视用综合手段找矿，据统计，用物探和地质发现的矿床各占32%，用钻探只占21%。

江西德兴斑岩铜矿是我国最早应用化探方法与地质配合找矿成功的实例。该矿区几乎动用了化探的全部方法，开展了原生晕测量、次生晕测量、水化学测量、水系沉积物测量，都较好地解决了有关的找矿问题，指导隐伏矿体的预测。并对原生晕成果进行数学处理（趋势面分析），明显地反映出该区的主要控矿构造。

运用磁法、重力法寻找磁性矿体，运用电法寻找金属硫化物矿床，运用重砂测量法寻找钨、锡、汞、金等矿产，都是被生产实践证实为行之有效的手段。

矿物中的气液包裹体的研究成果也可作为寻找盲矿体的依据。包裹体找矿的主要参数是温度、爆裂活度、盐度、类型、H_2O/CO_2比值等。从图5-46中可以看出该斑岩铜矿区蒸发晕曲线和矿体是比较吻合的，并且与铜的原生晕曲线相似，但其峰值要比铜的原生晕曲线更突出。

在岩体含矿性评价上，综合方法的应用也引起普遍重视。如有的地区，试用地球化学方法配合地质分析对岩体含矿性作出评价，取得较好的效果。例如滇西斑岩铜矿带，在十多个已知中酸性岩体进行随机取样，根据岩体Cu、Mo、Pb、Ag含量大于背景值以及Cu、Mo、Pb、Ag异常综合出现的特征，结合地质资料的综合分析很快筛选出小龙潭石英二长斑岩体；随后又在岩体上作米字形次生晕剖面，圈出异常轮廓，同时配合少量岩矿鉴定，发现铜晕地段以及钾长石斑晶边缘有熔蚀现象。经打钻验证，见到铜钼矿体。

广东某岩体通过试验得出如下认识：K_2O/Na_2O、$K_2O/(Na_2O+CaO)$和$Fe_2O_3/(FeO+Fe_2O_3)$的比值高处，即是花岗闪长斑岩和次流纹斑岩岩体与矿有关的强蚀变带，而在这种强蚀变带上有Cu、Pb、Bi、Mo、As、W等异常出现且有一定分带特征时，即是富集矿化部位。据此可以筛选出有价值的岩体。该地区的钻孔原生晕工作还了解到在一定深度内铜含量向下递增以及Cu、Bi成正相关，Bi不受淋失、Bi/Cu比值向下比较稳定的特点。求

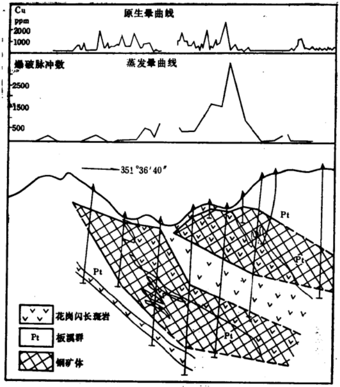


图5-46 华东某斑岩铜矿蒸发晕曲线

（据桂林冶金地质研究所）

出铜的淋失系数，采用回归分析方法预测富集矿化深度，经工程验证，与预测一致。

应当强调，地质观察和研究是认识矿床特点与规律的基本方法，也是做好成矿预测工作的基础。通过矿床地质的观察与研究为其它手段和方法的选择和使用提供地质依据，指明需要解决的问题。而其它各种技术手段和方法所取得的成果资料，又都必须通过地质观察与研究，进行综合分析，将其转化为地质成果，使认识进一步深化，以达到正确反映矿床地质特点和科学地指导预测找矿工作的目的。

（四）矿床的综合评价

在矿区评价工作中，要注意寻找新矿种和新矿床类型，而不能局限于原有认识，搞“单打一”。澳大利亚西部卡姆巴尔达是一个老金矿区，已有80多年生产历史，曾对Au矿床找矿勘探做了充分的地质工作，但对矿区的绿岩带内镍矿没有注意。1962—1966年进行详细地质填图和物化探工作，在基性超基性岩发现了许多个大型硫化铜镍矿床，矿石总储量约为1.0×10^{8}t，镍平均品位为0.60%以上。

我国攀枝花钒钛磁铁矿，有13种有用元素可以综合利用，其工业价值比铁矿大八倍。四川一个铅锌矿床，原来只找铅锌，而没有注意顶板有很富的菱镁矿，时隔十余年，才重新取样检查，没有打一个新孔，就评价出一个储量可观的菱镁矿。

随着科学技术的发展和国家建设需要的增长，各类矿床的工业价值也会发生变化。例如绿柱石，以前仅作为宝石（绿宝石）材料，现在由于对铍的分离技术解决和含铍合金的生

产，以及原子能工业的飞速发展，扩大了铍及其合金的用途，而被视为重要的稀有金属矿产。这种变化，是矿产评价中必须随时予以考虑的。

同一矿区找到多种类型的矿床，这在国内外都有不少例子。如美国西部的莫伦锡和比兹比矿区都是一部分为斑岩铜矿，一部分为矽卡岩型铜矿。我国西藏玉龙和湖北丰山洞也属于类似的复合矿床。

注意综合评价，注意寻找新矿种和新矿床类型，往往可以使"一矿"变多矿，"呆矿"变活矿，"贫矿"变富矿，从而大大提高矿区预测评价的效果。

二、异常检查与工程验证

（一）异常检查

对各种手段所获得的异常，首先应当进行检查，尽量排除干扰，以便得到比较可靠的矿化信息。

异常检查的一般原则是：选取代表，重点解剖，由点到面，反复认识。检查方法主要是实地的地质观察和研究，其次就是手段本身或手段之间相互检查。

某矽卡岩型铁矿床，开展多种物探方法（电测深、重力、磁法）实行地、物、钻三结合，对磁异常进行综合解释。在对异常检查时，发现异常低缓，磁测精度不够（33nT），表现为一片零乱异常；当提高精度为7nT时，出现一个规整的低缓异常，经验证为矿体引起。

鄂西某金矿，发现砷铅组合异常是找金的显著标志，是经过了异常检查的再认识过程。开始，只认为As是找矿标志，但检查工作开始后，在砷异常中找到不少石英脉，但并不全是金矿脉，经室内外多次分析对比，才发现在富矿脉四周，除砷异常外，尚有微弱的铅异常（在异常下限值以下，比周围样品的平均含量高1/3），并进一步用原生晕工作证实，才确认下来。运用这一标志找矿，取得了好的效果。

异常检查，是正确评价异常和进行工程验证的前提。

（二）工程验证

在异常检查的基础上，应当进一步对异常地段进行评价。其任务是查明引起异常的地质体与异常各方面特征（规模、形态、元素组合、分布及含量变化）间的关系，查明异常地段的地表地质特征与控矿因素，提出验证工程的设计资料。

异常评价中的关键问题是区分矿异常与非矿异常。矿异常的基本特征是地质条件对成矿有利，异常的各种特征符合成矿的规律。在评价方法上要强调研究异常地段的成矿地质条件，类比含矿地段的特征，采用多种手段进行综合研究。还可以采用多元统计分析的方法来区分矿异常及非矿异常。在充分研究异常性质、判断异常与矿体的空间关系的基础上，需要布置工程进行验证。为了查明地表地质特征以及异常特征与地质体的联系，应当在地表布置槽井探工程，进行揭露。在基本查明异常地段地表地质的情况下，可对深部布置工程（往往以钻探为主）进行验证，以寻找盲矿体。地表工程验证或深部工程验证的同时，都应进行认真的地质观察研究和样品采集工作，为追索盲矿体提供资料。

应当指出，在尽可能充分研究异常特征，选准验证工程的前提下，必须坚持验证，大胆实践，不可半途而废。不少矿区提供了这方面的经验。

内蒙古某磁铁矿矿床，位于第三系玄武岩之下。在获得磁异常之后，开始认为是玄武岩

所引起。但经过研究，发现异常曲线规则，不象是玄武岩引起，并对比已知矿异常，布置验证钻孔，预计在52m左右见矿，当打到60m时，仍然是玄武岩，尽管有人说“玄武岩下部不可能成矿，即使成矿也被玄武岩破坏了，”但他们坚持验证，进一步分析孔内玄武岩的磁性，据以推断不可能引起地面实测的磁异常，继续钻进，终于在65m处见到了磁铁矿，矿体厚度几十米。

山东王××磁异常，是经过多次曲折，终于验证成功的好例子。该异常是1954年磁测中发现的，位于某矽卡岩型铁矿椭圆形侵入体外围东北侧，地面为浮土所掩盖。$\Delta Z_{max}=$ 3500nT。从1957年开始对这个异常验证，打了4个钻孔，除1号孔见到17m矿外，其它孔打到的都是闪长岩，因而否定原来认为“磁异常系由大矿引起”的结论，提出了“异常系由岩体加小矿体所引起，找矿意义不大”。

1966年，又对该区火成岩和矿体的磁性进行了大量测定，结合已打的验证孔综合分析，认识到：这里矿化活动强烈，具备成矿条件，不能排除深部存在盲矿体的可能性。初步计算表明，火成岩只能引起1500nT异常，小矿体仅能引起300—500nT的异常。从3500nT中去掉火成岩和小矿体的异常，还有1500nT的“剩余异常”。看到了成矿的有利条件，抓住了“剩余异常”这个关键，使验证工作迈出了新的一步。但是，先后布置6号和7号钻孔，都没有达到预期效果。他们认真总结经验教训，测量岩心参数，加强测井工作，地面和井下磁测相配合，分析异常特征，排除火成岩的干扰异常，推测矿体应在钻孔北侧。8号孔验证结果，在预定的深度（450m）见到了矿体，共9层富矿，总厚度为65.69m，从而揭开了王××磁异常深部大矿体的序幕。

第七节 矿区成矿预测实例

——广西大厂锡石-多金属硫化物矿区

一、大厂矿区地质概况

大厂矿区地处丹池矿带中部。丹池矿带是广西山字型构造前弧西翼接反射弧部位。构造复杂，是一个北西走向褶断带。矿带中间主要有泥盆系的泥质岩，硅质岩和碳酸盐类岩石，和两侧的石炭、二叠系地层组成北西走向的紧密线状复式褶皱，伴生一系列北北西走向的次级褶皱与之相接或平行，构成入字型，反多字型构造。伴随着背斜构造发育一系列规模不等的纵向压性、压扭性断裂和横向张性、张扭性断裂。北东向构造带与北西向构造复合部位成为横跨隆起和凹陷构造。一些隆起为燕山晚期酸性岩浆侵入，伴之矿化活动，形成若干矿田。历年来找矿勘探工作主要在大厂矿田进行，已找到的绝大多数为盲矿体。

1．侵入岩的特点

大厂矿田岩浆活动频繁，有黑云母花岗岩、花岗斑岩、长英岩、白岗岩、闪长玢岩侵入。黑云母花岗岩呈岩株产出，后4种都呈岩脉、岩枝或岩床产出。

与锡、铜有成因关系的黑云母花岗岩，其岩石化学特征是：酸度大，SiO_2均高于70%，偏碱性，K_2O+Na_2O较高，达7—9.5%，且$K_2O>Na_2O$近1倍左右。氧化铝过饱和，暗色矿物含量不高；普遍含电气石、萤石，说明花岗岩的化学特征偏碱性，含F、B等挥发分含量高，对成矿有利。

花岗岩侵入时代，经同位素年龄测定为91—107Ma。

2．成矿围岩介质条件与成矿作用

本区的泥盆纪沉积为一整套碳酸盐-硅质岩-细粒碎屑岩建造。地层岩性有：D_3^3为灰岩、页岩互层，D_3^2为大小扁豆状灰岩，细、宽条带状灰岩；D_3^1硅质岩；D_2^2板状灰页岩；D_2^1生物礁灰岩。

矿田已知矿床几乎无例外都是分布在泥盆系地层中，对不同地层分布的矿量进行统计，铜矿多富集在碳酸盐岩石中，而锡矿主要赋存在硅质岩石中，不同矿种与一定岩性有联系。

围岩蚀变演化过程基本上经历三个阶段。早期的钙铝石榴石、符山石、硅灰石、大理石化；中期的钙铁石榴石、透辉石、透闪石、阳起石、绿帘石化；晚期的硅化、电气石化、绢云母化。成矿生成过程可概括为三个时期，即：矽卡岩锌铜矿成矿期，锡石-硫化物成矿期，W-Sb成矿期。锡矿富集于锡石-硫化物阶段，硅化、绢云母化、电气石化强烈；而铜矿却富集于矽卡岩阶段晚期。

3．矿床分布规律

在花岗岩侵入于良好的成矿围岩介质作用条件下，形成了丰富的锡矿床、锡锑矿床和多金属矿床。

研究表明，矿区内元素分布、成矿阶段、围岩蚀变等都具有分带性（图5-47）。

根据矿田成矿地质条件不同，从上到下，形成各种类型矿床，综合起来，矿床模型分五层：

一层：裂隙脉型锡石-硫化物矿体，主要分布在上部（大脉型）；

二层：裂隙充填交代锡石-硫化物矿体（细脉带型）；

三层：细脉、网脉浸染交代锡石-硫化物矿体（似层状型）；

四层：交代锌矿体（层状、似层状型）；

五层：矽卡岩锌-铜矿体（透镜状、似层状）。

钨矿床按距离火成岩的远近，可分为两带。一带：黑钨-石英脉，离火成岩较近；二带：白钨矿-萤石-方解石脉型。

从包裹体测量数据综合得出：成岩温度，花岗岩为707℃，矽卡岩为418—468℃；成矿温度，矽卡岩锌铜矿为373—350℃，锡石-硫化物矿床为274—315℃。成矿温度随着远离岩体，温度有规律的递减。

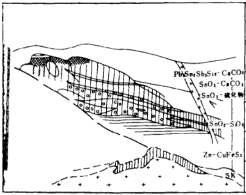
二、矿田构造规律

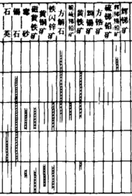
1．开放与封闭构造

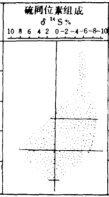
根据成矿构造的不同特征及其出现的不同部位，可以分为两个构造系统，即开放构造系统和封闭构造系统。开放构造系统是由倒转背斜构造和压、压扭性断裂所组成，成为矿田的主要构造系统，其控制的矿床常呈线状分布（矿化宽度1—1.5km左右），矿体一般出露地表或隐伏较浅，矿床类型多，以锡石-硫化物多金属矿床为主，矿物组分复杂，矿化深度较大，可达1000m以上。而封闭构造系统则由深部火成岩接触构造所组成，被上部岩层封闭着，以矽卡岩型锌铜矿床为主，矿化宽度较大，成矿空间一般距接触带0～200m范围内。

2．定距构造

从图5-48可以看出，当北西向的褶断带受到北东向张性、张扭性的断裂交切时，往往沿







成矿阶段	矿物标型特征	成矿温度（℃）	挥发分含量 F(%)	Cl(%)	CO₂(%)
辉锑锡铅矿－方解石	辉锑锡铅矿产出锡已由氧化物转为硫化物另有辉锑矿	231－241	0.023	0.16	5.88
锡石－方解石	锡石呈米黄色，个别有棕黑色晶形多为长柱形集合体 锥：柱＝1:5	240 260	0.088	0.18	22.1[illegible]
锡石－硫化物	锡石呈棕褐—黄棕色晶形长柱短柱状都有锥面发育，磁黄铁矿为单斜晶系	274－315	0.301	0.15	1.78
锡石－石英	锡石呈黑—棕黑色晶形短柱状，锥面发育有时见肘状双晶 锥：柱＝1:2－3	343 381	1.54	0.17	1.3[illegible]
矽卡岩型锌－铜矿	黄铜矿、铁闪锌矿和磁黄铁矿大量析出，磁黄铁矿为六方晶系	373－350	0.543	0.23	2.10

图5-47 广西大厂矿田长坡矿区成矿阶段图表

（据广西215队）

主要构造线出现按一定距离排列的成矿区段。矿田构造的基本特征是北西向的褶断构造成带，北东向的断裂和挠曲构造带成行，带带行行，纵横交错成网，网格密度稀疏有度，交汇成矿，矿体赋存在与主断裂相关的低次序构造中；这是进行构造预测找矿的基础。

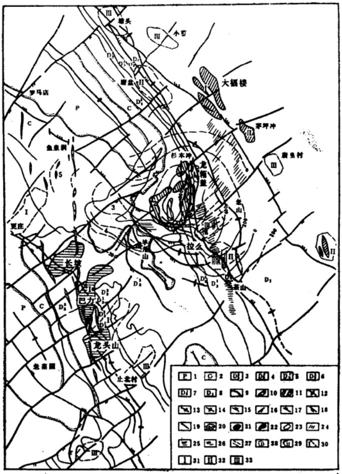


图5-48 大厂矿田成矿预测图

（据215队）

1—二叠纪灰岩、硅质岩质砂页岩；2—石炭纪灰岩；3—同车江组灰页岩互层；4—榴江组扁豆条带状灰岩；5—榴江组硅质岩；6—马家坳组灰岩、页岩；7—马家坳组结晶灰岩；8—车河组灰岩、页岩、砂岩；9—不整合地层接触；10—闪长玢岩；11—花岗岩、花岗斑岩；12—背斜轴；13—倒转背斜轴；14—向斜轴；15—压性断裂；16—张扭性断裂；17—压扭性断裂；18—旋压扭性断裂；19—性质不明断裂；20—花岗岩顶板等高线；21—锡矿床；22—锡铜矿床；23—铜矿床；24—白钨矿脉组带；25—黑钨矿脉组带；26—锑矿脉组带；27—锌铜矿预测环带；28—锡矿预测区及级别；29—锡铜矿预测区及级别；30—铜矿预测环带及编号；31—预测一级区；32—预测二级区；33—预测三级区

3. 构造环

在矿田中部的龙箱盖部位，恰好是北西和北东褶断构造带交汇处，有花岗岩侵入。在上侵应力作用的条件下，形成中部隆起。在平面上环绕岩体产生一系列环形褶曲，帚状构造，压扭性断裂和明显的半环形岩层挠曲。在岩体不同部位，形成隆起、凹陷、岩体分枝和派生岩脉带。被后来不同时期两种不同系统的矿液活动形成截然不同的两种成矿构造环。第一种为矿区西部构造环，成矿物质组分为多金属硫化物系统；另一种为东部构造环，成矿物质组分为钨锑叠加多金属硫化物系统。

4. 构式分带

对比表层构造和深部构造，矿田内的空间组成构式有多种类型（如正接触带似层状矿体、沿断裂充填的陡倾斜矿脉等等）。不同构造部位，成矿是不同的。在同一矿田构造中，其上部主要是以张扭性，扭性、压扭性裂隙控制着成矿构造，所组成的矿体形态为脉状、细脉带、不规则脉状。一般矿石品位较富。而中部却转化为以压扭性构造为主，产生一系列层间滑动，形成雁行式层间似层状矿体或层间剥离矿体。在靠近花岗岩体或是构造深部，构造特点是侵入岩作用与构造应力作用密切联系的接触构造控制着矿床的展布，矿床呈脉状、似层状、条带状产出，矿化宽度加大。

矿田内成组成带排列的控矿构造，可分为层间扭动雁行排列、剥离构造重叠排列、迭瓦状构造排列等型式，它们控制着矿床、矿体的空间分布，对预测矿体极为重要。

三、成矿因素、找矿标志的数理统计

尽管矿田、矿床的形成发展和变化是一个复杂的随机过程，存在着时间和空间的不同，各种控矿因素的作用有差异，但又相互联系，互相制约，不是孤立存在的。在掌握矿田、矿床成因和控矿构造规律认识的基础上，将不同找矿方法所获得的十几万个数据，应用数理统计的分析方法，运算几千万次，力图查明它们在成矿上的数量联系。其中，应用秩相关分析研究成矿因素，找矿标志与矿床分布的关系；采用多元素的回归方程研究矿区的垂直分带规律定量数值变化，建立矿床在不同空间晕的分布规律的判别指标；还作了典型矿区的多元素相关分析和矿田锡、铜元素的趋势分析（图5-49）。从而使地质研究工作由过去的定性分析向

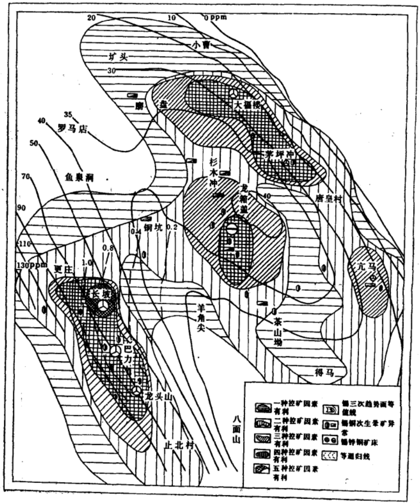


图5-49 大厂矿田数理统计成果图
（据215队）

定量发展。

秩相关分析的规律是：

X_1　纵向构造线　（0～15km）

X_2　锡次生晕浓度（32ppm以上）

X_3　岩层接触面　（一个面以上）

X_4　磁异常指数　（14个以上）

X_5　含矿裂隙脉　（30条以上）

按照不同成矿构造层，深浅结合，将地表次生晕、矽卡岩、黑云母花岗岩体的原生晕作锡、铜两元素2—4次趋势分析，解释异常，得到次生晕中锡残差异常21个，铜的残差异常20个；矽卡岩中锡残差异常8个，铜残差异常15个；花岗岩中锡残差异常4个，铜残差异常11个（以1平方公里为单位计算出现个数）。

实践证明，统计规律与已知地质规律基本上一致，增强了可靠性，从而提高地质工作的研究精度和质量。

四、成矿预测

大厂矿田是我国有色金属重点矿产基地之一。该区寻找盲矿体的发展过程，大致分为四个阶段（地质类比法→物化探方法→矿床成因分带规律的认识→矿体组合排列的认识）。成矿预测水平不断提高，并逐渐引用若干新技术、新方法。为了扩大矿田远景，1976年开始在大厂矿田166km²范围内，进行1：1万成矿预测工作。通过研究处理2万个地质数据，15万个物化探数据，编制图件54种，获得了一定成果。

在运用带行组合控矿规律的基础上，共圈定17个有利区段，已经评价勘探的共6处，尚有11处有待进一步工作（参见图5-48）。并将矿区分西带、中带、东带、环带等四个矿带，综合叙述了预测依据和预测区级别。现以西带为例，说明如下（表5-3）：

表5-3　大厂矿田成矿预测综合表　（以西带为例）

控矿因素	构　造	西部开放系统Ⅱ级NW向压性断裂＋Ⅱ级倒转背斜					
	岩　层	D_3^2—D_2^1					
	火成岩	花岗斑岩脉、闪长玢岩脉					
	蚀　变	硅化、绢云母化、黄铁矿化					
	矿床类型	锡石-硫盐类硫化物型					
矿段名称		更　庄	长　坡	巴　力	龙头山	止北村	贯　洞
成矿因素和找矿标志	构　造	Ⅱ级NW向褶皱带与具伴生的NE向张、张扭性断裂交汇处	同更庄。有Ⅳ级纵向褶曲和横向挠曲	同更庄。有入字形构造和SN向裂隙破碎带	同更庄。有生物礁隆起构造和NE向裂隙带	同更庄	同更庄。有NW向压扭性断裂和SN向裂隙
	含矿层	D_3^2　D_3^1	D_3^2　D_3^1 （D_3^2　D_3^2）	D_3^2　D_3^1 （D_2^2　D_2^1）	D_3^1　D_2^2 D_2^1	（D_2）	（D_3^2　D_3^1 D_3）
	火成层	花岗斑岩、闪长玢岩脉		花岗斑岩脉	花岗斑岩脉	—	—

		更庄	长坡	巴力	龙头山	止北村	贯洞
控矿因素	构造	西部开放系统Ⅱ级NW向压性断裂+Ⅱ级倒转背斜					
	岩层	$D_3^2—D_2^1$					
	火成岩	花岗斑岩脉、闪长玢岩脉					
	蚀变	硫化、绢云母化、黄铁矿化					
	矿床类型	锡石—硫盐类硫化物型					
矿段名称		更庄	长坡	巴力	龙头山	止北村	贯洞
成矿因素和找矿标志	蚀变	硅化、绢云母化、黄铁矿化		硅化、绢云母化、黄铁矿化、深部矽卡岩化	硅化、碳酸盐化	硅化、黄铁矿化	硅化、黄铁矿化
	矿床类型 形态	矿化		裂隙脉似层状	破碎带、似层状裂隙脉	矿化	硫化物方解石石英脉
	矿床类型 矿种	Sn-Zn(Sn-Zn-Pb)		Sn-Zn=Ps、Pb、Cu-Zn	Sn、Zn、Ps、Ps、Pb-Zn	(Sn-Zn)	(Pb-Zn·Sn)
	矿床类型 规模	Δ	⊗	⊕	①	Δ	Δ
	磁法	无异常	NE向*Za*最大值为150nT	EW向*Za*最大值为150nT	零星*Za*最大值为100nT	无异常	—
	次生晕	Zn-Pb-Cu(Sn)	Sn-Pb-Cu-Zn	Sn-Pb-Zn-Cu	Sn-Pb-Cu-Zn	Cu	—
	次生晕剩余异常	Cu	Sn	Sn	Sn	—	—
	次生晕判别结果		锡矿	锡矿	锡矿	—	—
	矿区回归	长坡$\hat{y}=0.6742+0.2064\ Sn+0.751\ Pb+0.1002\ Sb+0.4496\ Zn-0.8168Cu$ 巴力$\hat{y}=0.6984+0.3016\ Sn+0.0279\ Zn-0.815\ Pb-0.3206\ Cu$					
	秩分相关析 (Ⅰ)	1, 2, 5	1,2,3,4,5	2, 3, 4, 5	1, 2, 4, 5	1, 5	—
	秩分相关析 (Ⅱ)	②	③	② ③	②	②	—
	预测区级别	Ⅰ	已探	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ

附表说明：

1—纵向构造有利；2—锡次生晕有利；3—磁异常有利；4—地表含矿裂隙有利；5—不同岩层接触面有利；①—环形构造有利；②—铜次生晕有利；③—火成岩有利；④—复杂矽卡岩有利；（Ⅰ）—锡石硫化物多金属矿床；（Ⅱ）—矽卡岩型锌铜矿床；⊗特大型（$>1\times10^7t$）；⊕大型（$>5\times10^5t$）；①中型（$>1\times10^5t$）；Δ矿化；Ps—铅锑硫盐类矿物

此外，锡矿床经成矿因素和找矿标志的秩相关分析，预测有利单元（每单元1km²）共32个，其中与已知矿区符合12个，新预报20个，矿点升级6个。锌铜矿床经成矿因素和找矿标志的秩相关分析预测有利单元共20个，其中与已知矿区相符13个，新预报7个。应用判别分析对锡矿床进行推断判别是：次生晕异常共28个，预报有矿25个，非矿3个，与已知矿区相

吻合17个；原生晕钻孔共21个，预报有矿10个，与已知矿相符合7个。对锌铜矿床进行推断判别是：次生晕异常共19个，预报有矿15个，非矿4个，与已知矿相符合8个；原生晕钻孔共13个，预报有矿7个，非矿6个，与已知矿符合7个。应用龙箱盖矿区回归方程推断火成岩埋深，获得结果基本上与实际情况相符。

参考文献

[1] 中国地科院岩石研究室，1976，含铬铁矿基性超基性岩岩体类型及铬铁矿成矿规律。地质出版社。

[2] 中国科学院地化所包裹体实验室，1977，矿物中的包裹体及其在地质上的应用。地质出版社。

[3] 王剑锋，1981，氧化还原电位的原理和测定方法。地质与勘探，第3期。

[4] 古菊云，1984，华南脉钨矿床的形态分带。钨矿地质讨论会论文集，地质出版社。

[5] 花永丰，1982，中国汞矿成因及其找矿预测。贵州人民出版社。

[6] 张华，1981，生产矿山扩大资源远景的途径。地质与勘探，第1期。

[7] 陈国达，1978，成矿构造研究法。地质出版社。

[8] 柳志青，1981，脉状钨矿床成矿预测理论。科学出版社。

[9] 航空物探大队，1979，航空磁测和地面物探异常见矿实测。地质出版社。

[10] 黄洁真、刘辅臣，1984，山东埠后火山机构显微构造研究。地球科学，第4期。

[11] 翟裕生等，1984，矿田构造学概论。冶金工业出版社。

[12] B.T.波卡洛夫，1981，矿床预测和评价原理。地质出版社。

[13] E.A.巴斯科夫，1981，成矿规律研究中的古水文地质分析。科学出版社。

第六章　成矿预测方法

第一节　成矿预测的一般程序和方法

一、成矿预测的一般程序

成矿预测是普查找矿的先行步骤，是提高地质工作成效的重要措施。由于研究对象是复杂的地质体，虽有其共性，但也千差万别，因此矿产预测成为当代最重要、最复杂的地质课题之一，受到各国越来越普遍的重视，其预测方法，尚不成熟，目前正在探索之中。

成矿预测工作程序，可以大致归纳如下：

1. *确定预测的要求*

成矿预测一开始，必须确定预测的目的任务、预测区的范围、预测的主要矿种、比例尺大小等等。一般说来，区域成矿预测是编制1：50万—1：10万比例尺的预测图，为普查找矿的地区选择工作设计和远景规划提供依据。矿区成矿预测是编制1：5万或更大比例尺的预测图，为矿区远景评价、详细找矿和深部找矿提供依据。

2. *全面搜集地质资料*

矿产预测要求有充分的实际资料作根据。为此要全面搜集研究地区的各种地质报告和图件；物化探、重砂测量等工作成果以及有关专著，并尽可能进行矿产预测所必需的地层、构造、岩浆岩、矿床等各项地质资料加以系统整理，使之条理化和图表化，为进一步研究成矿规律和预测打下基础。

区域成矿预测不应忽视矿床（点）的地质成果，矿区成矿预测不可轻视反映区域地质背景的有关资料。只有点面结合，深入研究，才能取得较好的预测效果。

3. *研究成矿规律*

综合分析地质资料，研究成矿规律，编制相应体现成矿规律的图件。在矿区预测中，要求基础地质资料比较详尽，往往需要编制多种图件，从不同侧面反映研究成果。

4. *编制预测图*

通常以成矿规律图为底图。要突出各种控矿地质因素和矿化信息。在综合分析控矿因素和矿化信息的基础上，确定预测评价的准则，圈出矿产预测区，并划分远景级别，以反映预测的可靠程度。

预测评价准则的正确确定，可以抓住成矿现象的本质，促使预测成功。例如：宁芜北段铁矿的"一叉、二带、三层楼、四标志"的找矿经验和卢氏灵宝内生金属矿床"等距性、递变性、对称性"的成矿规律等都说明了预测评价准则的重要性。

东德蒂申多夫在厄尔土山区预测锡矿时，把地质-大地构造-地球化学现象加以集中归纳，提出如下成矿因素及成矿标志体系：

A——控制花岗岩的因素及花岗岩的标志：

A_1——控制花岗岩的因素：具有成矿专属性的花岗岩的侵入控制构造。

A_2——花岗岩标志：有地球化学专属性的花岗岩的物质成分特征。

B——控制成矿的因素及成矿标志：

B_1——区域性控矿因素：决定含矿性及矿床的区域分布的地质构造或岩石的演化过程、形成部位及其性质。

B_2——成矿标志：指示矿床的地质构造、岩石及矿化作用的演化过程、形成部位及其性质，它们的区域分布及相互间的成因关系。

该地区运用上述"体系"，成功地对锡矿进行了定性预测，取得了良好的效果。

5. *重点工程验证*

对复杂地质体的评价预测，必然有个实践、认识、再实践、再认识的不断深化过程。地质现象常常具有多解性，相互干扰很大，造成分辨"矿"与"非矿"的重重困难。因此必需用信息论的观点，把预测找矿过程看成是一个多因素影响的不断修正、不断调节的动态过程。要使这样一个过程科学化，信息反馈是不可缺少的。信息反馈能使预测方案的验证过程中产生的各种信息，及时送回到我们的手中，帮助适时地改进和调整决策，以达到"有效最佳"预测的目的。因此，在预测方案拟定以后，应当选择典型地段，布置少量工程（一般以钻探为主）予以揭露，及时验证预测矿产的可靠性。

日本黑矿及金-银矿脉的矿产预测工作程序，充分说明反复选区和及时工程验证的重要意义。据日本西胁近雄报导，日本勘探深部的隐伏矿床采取了以下步骤：

(1) 首先在金属省中选择金属富集的地区作为普查区，每年可选择十余个这样的地区，每一个地区可达数百平方公里；

(2) 在所选地区内进行1∶1万的详细地质制图，并进行若干必要的地表及航空地球物理工作，以圈定对成矿有利的地质及构造区，可在地质上有决定意义的地方打一些深构造钻（1000m以上）；

(3) 选择下一步工作最有利的地方；

(4) 以间隔1km的网度打深度超过500m的深构造钻，同时在区内进行地质、地球物理及地球化学勘查工作；

(5) 第三次选择有利地区进行详细地球物理、地球化学勘查工作和钻探工作；

(6) 对已查明有矿床的地区进行统计分析及地质解释，以选择含矿最有利的地区。

据西胁称，这种方案对发现深部的隐伏矿体是成功的，这些隐伏矿体通常深埋于地表之下300m深处。

6. *确定预测储量*

预测储量可以考虑划分三个级别：D_1级——矿产深部及侧翼的预测储量（普查—勘探工作结果）；D_2级——矿田中的预测储量（普查工作的结果）；D_3级——含矿带（区）的预测储量。1∶5万—1∶2.5万预测（成矿分析工作结果）可提供D_1级储量。

矿产资源总量的分类和分级是根据资源的技术经济条件和地质研究程度来确定和划分，并要考虑我国的实际情况和便于国际对比。矿产资源总量的分类和分级可参见表6-1。

表中的E级储量大致相当于上述的D_1级、D_2级预测储量。F级储量相当于D_3级。

预测已知矿床经勘探工程控制以外的储量，可以采用外推法或内插法。

预测已知矿化地区新矿床的储量可以根据已查明的矿床的成矿规律以及矿床规模，并考虑侵蚀切割程度，采用概率统计或综合分析法来确定。

预测新区的矿床的储量主要采取类比法，即先在成矿条件相同或相似、研究程度较高的

表6-1 资源总量分类分级

（据地质部有关单位提出的讨论意见草案）

分类	探明储量			预测储量	
分级	A＋B	C	D	E	F
含义	是指已发现的矿床中经工程圈定的储量。按现行的《金属、非金属矿床勘探规范总则》规定执行			包括对已知矿床预测的除探明储量以外的储量和已知矿田内预测可能发现的矿床的储量	对成矿区、带中尚未发现矿床的有利地区所预测的可能发现的矿床的储量

地区对矿床的分布进行统计研究，确定含矿系数和矿化密度，然后与预测地区进行对比来大致确定预测储量。在进行类比的时候，应当由简至繁，由定性到定量。

地质、物化探和某些新技术、新方法的结合显然有助于定量预测评价。在地质条件有利的地方，有物化探异常处，经取样证实是某种矿化，那么由已知类推未知，通过对地质体的定量估计，对物化探异常的定量计算和对取样结果的反复研究，即可对该地质体的成矿远景作出定性和定量预测。

二、成矿预测的方法

成矿预测方法在50年代以前以经验性的定性预测为主，从60年代开始引用各种统计分析方法，并借助于电子计算机，在定量预测方面有了飞跃的发展。从成矿预测工作特点来看，成矿预测方法在一定程度上是对各种成矿信息进行深入研究的综合分析方法。目前常用的有四种方法。这些方法的选择，取决于预测任务要求、资料情况以及预测区的地质特点等。

1．*归纳法（编图法）*

科学的成矿预测，实质上是成矿规律的归纳、应用和检验。在成矿预测工作中，运用合理的地质理论和假设，以及类比条件相似而研究程度较高的已知矿区（段）的成功经验，对提高预测水平是很有意义的。但是，归根到底，成矿预测是以地质事实为主要依据。所以，针对具体的地区（地段），加强以成矿规律研究为中心的基础地质研究，提高整个地质研究程度和水平，才能从根本上阐明矿床成因机制，排除偶然因素干扰，迅速有据地筛选出主要控矿因素和矿化信息，归纳出有效的预测准则。

成矿分析和预测，一般总是通过编制成矿规律图和预测图来实现。因此，在综合预测区（段）成矿规律的基础上，编制不同比例尺、不同形式和内容的成矿规律图和预测图，是成矿预测最常用的基本方法。

成矿预测图是成矿规律的具体体现和运用，是各种预测手段的综合成果。编图的过程是一个细致的综合研究过程。它要求立足于研究区（段），加强基础地质工作，并以先进地质理论为指导，充分运用各种找矿手段和方法的成果，深入研究控矿因素和矿化信息，总结本区（段）的成矿规律，通过编图，指导矿产预测评价。

据不完全统计，我国在70年代新发现或大幅度增加储量的71个矿床中，通过基础地质工作和综合研究而获得储量的约占66%（涉及矿床的含矿围岩、沉积条件、控矿构造和矿床成因等方面的研究及相应的成果图）。广东冶金地质940队，在1977、1978年编制广东大陆铜矿化探异常分布图和斑岩铜矿分布图的基础上，于1979年编制了广东大陆地球化学综合异常

图及斑岩铜矿成矿预测图，把广东大陆划分了5个矿带，18个元素区和11个成矿远景区，并在没有见到矿点的Ⅰ级远景区发现了鸡笼山和锡平斑岩钼矿，效果显著。

2. 近似法（类比法）

近似法是利用预测对象（区域的或矿床的）和已经研究了的对象间的相似性进行类比分析的方法。它首先是矿床类型、各个控矿因素的分析和成矿地质环境等的类比。利用控制矿化的各个参数的变化趋势，进行相邻部分的内插外推，实质上也是近似法的一种。

近似法正广泛应用于各类矿床预测，类比的范围和领域在不断扩大。

随着科学技术的发展、大量地质资料的积累和地质研究水平的提高，成矿规律已成为成矿预测的科学基础。地质类比由单项类比变为多元类比，加深和扩大了其内涵，它已逐渐走向科学化、理论化。划分矿床类型，建立各种成矿模型，也是为了更好的类比，以增强矿床勘查的预见能力。例如，层控铅锌矿床在国内外铅锌矿资源的储量和产量方面都占有重要地位。美国密西西比铅锌矿成矿模式的建立，对许多地区同类型铅锌矿的预测找矿工作起了积极的推动作用。加拿大利用密西西比的成矿理论作指导，在一些零星出露铅矿化的地区，加强了含铅层位（中泥盆统碳酸盐类岩石）的研究，从而找到了储量达425×10^7t的铅矿床。近年来，我国对层控铅锌矿床的预测和勘查，也取得了较大的进展。其中最突出的如秦岭西和-成县多金属矿带，滇西兰坪金项铅锌矿床，其储量经初步查明都已达到大型—特大型规模。斑岩铜矿模式的建立，对墨西哥、加拿大、智利、巴布亚新几内亚、巴基斯坦和我国等许多国家同类型矿床的预测找矿起了积极的指导作用，新矿床不断被发现。

3. 统计分析方法

数学地质用于矿产预测，可以统称为“矿床统计预测”。它是在地质现象数字化和定量化的基础上，利用恰当的数学模型来实现的。具体体现在下列方面。

（1）矿床的形成和分布不仅服从地质发展过程总趋势，而且还受概率法则的支配，因此应查明矿床时空分布的统计模型。

（2）定量地研究各种控矿地质因素和信息，查明它们在时间、空间上的变化性；查明各因素和信息与矿化之间的相关性；找出各因素及信息最有利成矿和找矿的数值范围；建立主要控矿因素及信息与矿化之间的函数联系；对地区地质环境进行客观的分类并确立不同矿化类型、不同矿化级别所对应的典型地质条件和信息组合。

（3）定量地显示预测结果，查明预测地段的远景大小和预测对象的可能规模或价值并进行概率估计，评价预测的风险或可能损失，并在此基础上以某种最优化准则做出相应的统计决策。

综合现有资料，统计预测可以概括以下几种途径：

（1）区域矿产价值及区域矿床统计分布模型的研究：一些学者研究了区域矿床分布的统计模型（单位面积内矿点密度的频率分布），用以反映矿点空间分布的基本特征和模式。例如，普阿松分布反映矿点空间分布的随机性，负二项分布则说明矿点空间分布具有丛聚性。这类研究可用于对大区域的含矿远景或矿产潜力进行概略性评价。

（2）基础概率统计法：基础概率统计法包括各种概率估价法和单变量统计分析法的应用。在各种单变量统计分析法中，秩相关分析及相关分析有较广的应用。巴特斯（1959）对科罗拉多高原铀-钒矿床用秩相关分析法进行预测取得较好效果；1944年以后在该区发现的铀-钒矿床大约有78%是落在用秩相关分析圈定有利成矿区内。这类方法简便易行，在一定条件下效果显著。

（3）多元统计分析法：目前国内外矿床统计预测主要是以各类多元统计模型为基础。应用较多的方法有回归分析、判别分析、聚类分析、主成分分析等。

宁芜盆地中铁矿的统计预测，就是通过上述三种途径，对该区有利成矿的远景区，给予定量评价的实例。统计分析后，在156个等面积单元（每单元面积为$4km^2$中，提出5个单元为有利成矿预测区。并确定了马鞍山地区有利寻找铁矿床的"统计标志"是：

① 磁异常指数对数值$\log M>1.5$（加权平均磁异常值>1200nT）

② 闪长玢岩出露面积比$S\delta\mu=20\sim30\%$

③ 与主构造断裂距离$Lf=0\sim1$km

④ 岩性组合特征值$Hre=40\sim60\%$

⑤ 围岩蚀变组合特征$Hro>40\%$

⑥ 回归估值$\hat{Y}>3$（据三元回归方程），$\hat{Y}>2$（据五元方程）

⑦ 价值归组判别值$R_1BC>-0.0461$

$R_1AB>0.4389$（有利于找大型矿、富矿）

⑧ 含矿闪长玢岩化学成分判别值$R\delta\mu<-2.3971$（有利于找中型矿、富矿）

这些"统计标志"所反映的地质意义是：在靠近成矿前主断裂带附近，闪长玢岩总体的局部隆起或总体凸出部位或岩体与围岩之接触带及其附近，火山围岩岩性复杂、岩相多变、有多期热液蚀变叠加并具有较多磁异常的地段，最有利于寻找工业铁矿床。而这类地段中，被剥蚀深度不大，具海拔较高的正地形，闪长玢岩岩石化学成分中SiO_2含量高、FeO含量低的地区有利于中、富矿的找寻；而地区被剥蚀深度大，闪长玢岩出露面积广，其SiO_2含量低、FeO含量高的地段，可能找到浸染状贫磁铁矿床。

根据预测任务和不同的工作目的，要求正确采用各种统计分析法。目前的定量预测和所用统计预测方法可以归结为三类（表6-2）。

表6-2 统计预测的目的和方法

（据赵大鹏等）

工作目的	统计预测方法
1. 估计找矿概率	贝叶斯概率、主观概率法、事件概率回归估计
2. 估计矿床的可能规模	回归分析、判别分析、聚类分析、逻辑信息法、模糊集归属函数计算
3. 估计地质标志的找矿意义及最优数值区间	信息量计算、秩相关分析、变异序列法、因子分析、趋势及剩余分析、逐步回归及判别分析、对应分析

赵鹏大教授指出，矿床统计预测不仅是增添了一种新的预测方法，更重要的是，它提供了一种的基本地质-数学思维方法和工作要求，即探讨和查明一切地质过程在数量上的规律性。矿床统计预测的效果主要取决于原始资料数据的可靠性及可利用程度，对地区基本地质-成矿特征的认识程度，变量选择及方法运用的正确程度。统计预测的每个基本环节，如单元划分或预测基本地段的确定，控制区或标准对象的选择、原始资料的收集、变量的选择，取值和变换、方法的综合运用和配合、预测结果的解释和可靠性检验等都必需经过试验研究，方案的确定应有明确的准则和依据，否则有可能导致错误的结论。

4. 综合方法

指上述方法的不同组合。各种方法是彼此联系的，但又都有其局限性，要结合实际情况，选用有效的综合方法。

第二节　大区成矿预测方法

大区成矿预测是一项战略性的矿产资源总量估算工作。国际地科联为了促进这项工作的开展，交流各国的工作经验，于1975年在国际地质对比计划中建立了第98号项目，其题目是：《使用计算机信息系统研究和评价全球矿产资源和能源的标准及准则》。该项目推荐了6种区域矿产总量预测评价的方法。

(1) 区域价值估计法：首先选定一个与预测地区相似的矿产资源比较丰富的、研究程度较高的地区作为标准地区，并主要根据该区矿产已有储量和采出矿石量换算成总的货币价值，再用该区的面积除以该总价值，则得到该地区的单位区域价值（U.R.V）。然后，把计算出的有代表性的单位平均估计值类推到所预测的成矿地质条件与之相似的地区。在计算单位区域价值时，可以计算所有矿种的价值，也可计算某些矿产或者某一种矿产的价值，这完全取决于研究的目的。例如美国格瑞夫斯（1978）发表的关于美国资源评价的文章中，利用了各州60多年（1905—1972）75个矿种的历年产量与产值，计算出48个相邻州的U.R.V值为54954（美元／平方公里），其中与内华达州（U.R.V = 18904）条件相似的阿拉斯加州的U.R.V值只有2739（美元／平方公里），因而指出阿拉斯加州矿产资源大有潜力，并根据各区资料建立的矿种与岩性-时代单元的相异性测度之间的回归方程预报，该州的煤、油、天然气、铁、锰、镍等16种矿产很有远景。

(2) 体积估计法：在已知含矿地区根据过去开采生产和勘探中积累的地质资料，求出地壳单位体积内成矿元素（矿物）的平均含量，然后再乘以与已知地区成矿地质条件相似的预测地区整个有利于含矿的沉积建造（或含矿岩类）的总体积，估算出有关矿产的储量。体积估计法的基本依据是：一定地质建造中赋存某种矿产的潜力与该建造的体积成比例；地质环境类似的建造中矿产潜力相近。

(3) 丰度估计法：通过一个经验函数（矿产储量与有关元素地壳丰度的关系，一般为10^{10}），根据有代表性的丰度（一般为元素的区域地球化学背景值）估算回收的资源数量。即在已知地区进行岩石取样(不包括土壤样)得出不同岩石的化学元素含量(ppm)，再利用矿床储量与丰度得出富集系数来预测未知区的储量。苏联有人采取的作法是，先求出研究和开发程度都较高的成矿区一定深度内(应考虑矿化侵蚀程度来确定，一般为1km)背景金属总量（区域地球化学背景值乘以体积）与区内矿床金属总量之比，然后将比值推广到地质条件相似的未知区，据以估算未知区的矿床金属总量。元素地壳丰度与矿产储量间的关系，可以用不同的方式表示。图示法即常见的一种。图6-1是加拿大10种元素的丰度模式。横坐标是元素地壳丰度，在岩性复杂地区，按每种岩性出露面积加权平均求得，纵轴是储量（1短吨＝0.9070吨）。

(4) 矿床模拟估计法：根据对地质环境相似的已知矿床特征的分析，建立特定矿产的矿床模型。然后将预测地区的矿床地质特征与之匹配，从而估算出该矿产的资源

潜力。

(5) 德尔菲(Delphi)法：以多名有关地质学家评价资源潜力的经验和知识为基础，按德尔菲的要求格式进行无记名(填写意见征询表)的反复多次的讨论，经平衡后估计所预测地区的资源潜力。此方式可以充分发挥人的因素，概括许多客观地质数据所难以表达的地质特征。

(6) 集成方法：上述诸方法中的几种或全部的综合运用，估算资源远景。

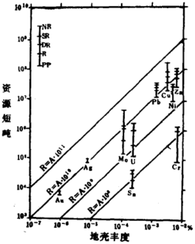


图6-1 加拿大的元素丰度模型

PP—1900～1975年累计产量；R—累加上储量；DR—累加上已知资源，仅包括至2000年可成为矿石的部分；SR—累加上推断资源；NR—累加上新资源

以上6种方法还很不完善，目前尚处于广泛的试验阶段。从相对精度和适用范围来看，精确度较高的是矿床模拟法和集成方法，但这两种方法对资料的要求较高，适用于地质研究程度较高，矿产资源比较丰富的地区。丰度估算法和德尔菲法比较简便快速，主要适用于具有一定地球化学景观的有色和稀有矿床。区域价值估算法和体积估算法精度可能要低一些，但区域价值估算法适用性广，只要有矿产储量和开采资料以及可靠的地质图即可进行工作，而体积估计法对于具有比较简单和均匀的几何形状的矿床，可以得到可靠的结果，例如煤、钾盐、盐、沸石及层状铁矿、石油等矿床。各种方法对资料的要求，参见表6-3。

表6-3 不同成矿预测方法对有关资料的要求

资料 \ 方法	区域价值法	体积法	丰度法	模型法	德尔菲法	集成法
矿产分布图	D	—	D	E	D	E
地质图	D	D	D	E	D	E
地球化学图	D	E	E	E	D	E
地球物理图	D	D	D	D	D	E
区域资源统计	E	D	E	D	D	E
基础科学	D	D	D	E	E	E

注：表中字母E表示起码的，D表示理想的。

此外，为了对矿产勘查和资源远景评价提供有益的咨询，国外专门设计了一个叫做《勘探者》(Prospector)的大型电子计算机程序。这一程序的基本构思是：将已有的矿床模型，勘查知识和经验输入计算机，建立起“知识库”，然后将所研究地区的资料输入计算机与之对比，从而对研究区的矿产资源做出评价。目前在《勘查者》系统里装配有3个矿床模型：① 黑矿型块状硫化物矿床模型，由Charles F.Park教授提供；② 密西西比型铅锌矿床模型：由N.Campbell博士和A.Campbell博士提供；③ 大陆边缘斑岩铜矿床模型，由

M.T.Einaudi教授提供。计划近期增加层状铬铁矿矿床和硫化物型镍矿床的模型；未来，预计增至25～50个不同的矿床模型，以扩大其实用价值。当前《勘查者》尚处于初期试验阶段，工作刚开始，但值得今后重视。

第三节 区域成矿预测方法

随着成矿预测工作的进展，特别是一些新技术、新方法的广泛应用，如卫星影像、航空地质、航空物探化探等等，使区域成矿预测逐步形成一定的工作程序和方法。苏联根据地质工作循序渐进的原则，划分出三个阶段：第一阶段主要是综合已有的地质和物化探资料以及卫星和航空资料，进行室内判读，编制预测草图；第二阶段主要是选择有远景有问题的关键地段，重点进行野外调查，目的在于搞清判读时所划分的地质体的微细特征，并根据野外搜集到的资料，进行专题研究，对判读成果进行反复的解释，使图件更加详细准确；第三阶段主要编制成矿规律和预测图，对整个地区进行综合预测评价，并反复筛选远景区。欧美各国，已开始注意新区或一定面积的成矿预测，但还没有统一规定。

由上可见，区域成矿预测工作的程序和方法大致是：根据地质和物化探资料以及卫星和航空地质资料，在成矿理论和成矿规律指导下，开展综合研究，先进行室内判读，初选成矿远景区，再进行野外重点调查，专题研究，筛选远景区，并及时进行工程验证，反复推敲，最后成图，这样可以大大加快工作速度，提高找矿效果。

区域成矿预测工作，系统搜集资料是基础，深入进行成矿分析是关键。兹将工作步骤列述于后。

一、基础地质资料的搜集、整理和研究

在成矿预测中，搜集资料，编制地质图及各种专门图件和辅助图件，是工作量最大的基础工作。要全面搜集原始观察资料，具体分析原始资料，客观地加以总结，并周密地组织各方面的地质人员分工协作，尽可能充分地为编制成矿规律图提供基础地质资料。

首先，要广泛地搜集研究地区的各种比例尺的地质图件、地质调查报告、矿点和矿床资料，以及有关区域地层、构造、岩浆作用，矿产等方面的专题著作。资料的完整与否，直接影响到预测图成果的质量，所以资料都应按其性质分类、编号、统一登记编成卡片目录。

编制预测图需要选择适当的地形图，作为各种图件的统一底图。地形底图要求平面位置精确，地形等高线则可以省略。图上应标明坐标、网格、水系、主要城镇、铁路、公路和重要的地形制高点，以便标定和转绘各种有关资料。

由于编制预测图涉及资料很多，因而必须编制区域研究程度图，用以反映区域各地段以往工作的详细程度，并且说明编图资料的主要依据。图上用不同颜色，不同线条符号表示以往各种比例尺的地质调查、物化探工作的面积范围，注明工作的时间和工作的单位。

为了编制各种基础图件，需要拟定编图的技术要求。根据预测矿产的类型和资料完备程度，确定编制图件的种类、内容和图示方法。一般要求有地质图、构造图、岩相-古地理图、物化探成果图、矿产图等。

(1) 地质图的编制：地质图全面反映区域地质特征，是编制其它各种图件的基础，应当尽早搜集或编制。地质图的内容一般应当符合相应比例尺的区域地质调查规范要求。由于编

图资料来源不一，比例尺也可能不尽相同，工作中需要特别注意不同图幅之间地层分层统一性的研究，按照统一的分层标准将它们编在同一比例尺的底图上。在覆盖地区，还必须参考物探资料修正和补充地质界线。

（2）构造图的编制：构造图是以地质图为基础，应用地质力学分析方法或地质历史分析方法研究编制。有时与岩相或岩性结合编制成构造岩相图(或构造岩性图)。通常作为成矿规律图的底图。应用地质力学分析方法作图，要求突出各种构造形迹的力学性质及其构造体系的归属，要反映出构造体系对岩浆岩和矿产分布的控制作用。应用地质历史分析方法作图，则要突出区域构造的发展阶段，要把区域构造发展不同阶段的地层划分成构造层。构造层是以区域不整合面和区域沉积旋回作为划分的主要依据。每个构造层在沉积岩相、构造产状、变质程度、含矿性等方面，具有各自的特征。各构造层应着以不同颜色。褶皱和断裂要根据规模、性质、形成时期等进行分类，绘出褶皱轴线，并以不同色调和线条，表示各类断裂。岩浆岩按其成因类型、时代、岩性、岩相及蚀变，用不同颜色及符号绘出。

（3）岩相-古地理图的编制：岩相-古地理图是研究外生矿床成矿规律的最主要的图件之一，是用来分析与研究岩相古地理对成矿的影响。通常按与沉积成矿有关的地质时期编制。在岩相古地理图上主要表达的内容是：①沉积区和剥蚀区的分布范围，古海岸线位置，海水进退方向；②沉积层（包括火山沉积）的岩相；③沉积层和含矿层的等厚线；④小比例尺的岩相-古地理图上应反映区域气候分带特征。

（4）物化探成果图和重砂测量成果图的编制：这类图件是圈定找矿远景区的重要依据，往往采用绘有侵入体、构造层等主要地质界线及有关矿点的图件作为底图。对于各种异常都要分别编号，登记异常卡片，注明异常的位置、特征、强度、远景意义及检查验证结果等。各类方法，均应分别整理异常成果图，并结合有关地质资料，对异常进行分类评价，把经过分析确认为有意义的各种异常最后汇编成综合异常图。

（5）矿产图的编制：首先应将所有矿点及矿床统一编号，每个矿点（或矿床）编制一个卡片，简要地注明其矿种类别、地理位置、成因类型、矿石质量、规模大小、形态产状以及地质情况等。矿产图是以地质图为底图，采用适当的符号表示各个矿点（或矿床）的矿种、成因类型、规模等级、矿体形态产状以及围岩蚀变等内容，用以反映已知矿产的空间分布特征。根据研究区内矿床和矿点数量多少，可以按矿种分别编制，也可以编成综合矿产图。

二、编制成矿规律图

矿产预测的中心环节，是成矿规律研究。只有成矿研究深入了，规律抓准了，下一步预测选区和远景区评价才能迎刃而解。因此加强成矿分析，编好成矿规律图，意义重大。

（1）底图的选择：因矿床的成因不同而有差别。内生矿床的成矿控制因素，主要为岩浆活动，构造及围岩岩性等，因而一般以构造图（构造岩性图）作为成矿规律图的底图。沉积矿床通常以岩相-古地理图为底图。变质矿床可以考虑采用构造岩性图作为底图。

（2）图面内容：包括控制成矿的各种主要地质因素，矿床、矿点及有关的蚀变等矿化现象，以及重要的物化探异常和重砂异常的分布。化探异常最好以颜色表示元素种类（可考虑与矿点符号中矿种的颜色一致），而以不同的线段表明晕的性质。

（3）区域成矿规律与矿化信息的综合分析：在编图过程中，要综合前述所有基础图件、辅助图件的资料，深入分析本区的地质发展历史，了解研究地区整个地质发展过程中沉积

作用，岩浆活动及构造运动等与成矿的关系，了解各个地段在地质发展各阶段中的成矿作用特征，了解不同地段主要成矿控制因素的变化，并选择产出条件比较典型的矿床（矿点）进行重点分析，以点带面，点面结合，以深入掌握各个成矿单元中各种矿产的形成规律及成矿特色。

（4）划分区域的成矿单元（或称成矿区划）：成矿单元是指在矿床类型及成因上具有一定内在联系及共同特征的区域。它是根据成矿规律分析结果划定的。

矿产是一定地质条件、一定地质发展阶段的产物，因此划分成矿单元应根据：①各区的地质特征及地质发展历史；②各区成矿作用的特征；③各区地球化学场的特征等。圈定成矿单元的分布范围，要充分考虑控制矿产区域分布的地质条件。成矿单元有大有小，具体命名可参考以下名称（线型分布的，称“带”；面型分布的，称“区”）：

构造成矿带（区）：大致与一级构造单元的规模相适应；

成矿带（区）：大致与二级构造单元的规律相适应；

含矿带（区）（或成矿亚带（亚区））：大致与三级构造单元的规模相适应；

矿带（区）：大致与四级构造单元的规模相适应；

矿带（区）中则可以划分出矿田和矿床。

在1∶100万或更小比例尺的成矿规律图上，一般可以划分出成矿带（区）或含矿带（区）；在1∶50万—1∶10万成矿规律图上，可以划分出矿带（区）和矿田。

根据区域矿化作用的特征，成矿规律图可以按不同矿种分别编制或综合编制。

与成矿规律相对照，应编制文字说明，简要阐述区域成矿规律、各成矿单元的成矿特色及单元划分的依据、典型矿床的特征等。

三、编制成矿预测图

在成矿规律图的基础上，即可进行矿产预测，指出成矿远景区。显然，研究区域并不全部都有远景，必须根据控矿因素，矿化信息和成矿规律的深入分析，确定其中最有远景的某些成矿单元或其中的局部地段，并应将这些地段按其远景大小圈定为不同级别的预测区。

（1）成矿预测图的内容：一般应包括

① 含矿岩系或有利的成矿的岩层；

② 成因上或空间上与矿产有关的侵入体；

③ 控制成矿的构造，如断层、不整合面、接触带、褶皱轴等；

④ 已知矿床（矿点）成矿特征及矿化信息；

⑤ 成矿单元；

⑥ 预测区。

成矿预测图通常以成矿规律图为底图，或画在有坐标网和水系的透明纸上，蒙在成矿规律图上进行观察分析。

（2）确定预测矿床的一般准则：矿床的形成是各种地质作用的综合结果，必须重视矿床的个性和共性的研究，根据这些特性，人们有可能认识矿床预测的一般准则，从而结合具体情况，使成矿预测更加接近实际。例如，预测沉积矿床的一般准则是：

① 区域地质构造特征和古地理环境：在正构造中应当注意寻找残余矿床，在负构造中应当注意寻找沉积矿床，同时还应注意古风化壳，古代或现代的河流、河谷、阶地及岩溶等，

要特别注意预测与风化壳有关的铝、镍和钴等矿产。据统计，欧美与风化壳有关的风化淋滤型（红土型）铝土矿约占铝土矿总储量的85%，镍矿约占75.5%，钴矿约占31%。

② 古气候：可以通过古动物、古植物研究以及岩相研究来恢复古气候带。古气候在较长时期、较大范围内保持稳定时，应注意预测有关的矿产。如为潮湿气候条件，要注意铁、锰、铝土矿、煤及有关的稀散元素矿产，如为干燥气候条件，要注意盐类矿产及自然硫和含铜砂岩等。

③ 岩相建造：预测沉积铁、锰矿床时，划分海进与海退相具有重要意义。预测含铜砂岩时要注意划分干燥气候下的河流相或三角洲相；预测硅酸镍矿时要注意划分风化壳相；预测铝土矿时要注意划分地台区内的残积-沉积相等等。

④ 含矿层位：含矿层位反映成矿时代和序列，有很重要的类比意义。在地壳发展历史中，遭受强烈化学风化的大陆隆起相对稳定阶段，有利于形成与风化壳有关的各种矿床，而在古陆边缘海盆相对稳定阶段则有利于形成沉积矿床。

⑤ 矿床成因：矿床成因的不同认识，直接影响新的成矿远景区的预测和评价。

又如，预测铬铁矿矿床的一般准则是：

① 大地构造的条件：最有远景的地区常为优地槽与地台或地盾交界处，或切割很深的断裂带。

② 岩性条件：纯橄岩-斜辉辉橄岩最有利于形成具工业意义的铬铁矿矿床。

③ 自变质作用：强烈的自变质作用对铬铁矿成矿不利。

④ 地球物理场：产于断裂带的超基性岩，显示出线型正磁异常，异常值一般不高，重力场紊乱；产于优地槽内的隆起或地背斜周围的超基性岩一般显示较高的线型正磁异常和负的重力场异常。

当然，在运用一般准则进行类比时，必须对具体地质情况、具体矿床类型进行具体分析，这是正确进行成矿预测的关键。

苏联在金矿预测中提出下列几类标志：①该类型金矿共有的标志；②一定时代金矿特有的标志；③所有金矿的普遍标志；④仅对该地区有典型意义的局部标志；⑤绝无仅有的标志。用以上标志以便进行类比，指导预测。这也说明矿床类比，既要考虑同一性，也要考虑特殊性。

（3）圈定预测区的依据：在充分占有第一性资料的基础上，总结成矿规律，应用成矿规律，并可从下面诸因素综合考虑，圈定成矿预测区：

① 矿床（矿点）的分布情况：矿床（矿点）集中分布的地方可以说明成矿条件有利，特别是已知重要工业矿床的密集分布，更是圈绘预测区的重要依据；

② 与矿化有关的侵入岩：除分析成矿专属性外，还应考虑侵入岩体的形态、产状、大小、岩相等特征；

③ 构造层的含矿性；

④ 控矿构造分析：包括深大断裂，不同构造系统交接线，含矿断裂，裂隙带、片理带、褶皱轴等；

⑤ 重砂异常：不仅要注意重砂异常区的分布，而且要分析有用重砂矿物的可能来源，作为圈定预测区的参考；

⑥ 物探、化探资料：对各种物化探方法的成果资料，必须充分利用，这是提高预测能力和效果的重要途径；

⑦ 有利于矿化的地层（岩性）分布情况；

⑧ 围岩蚀变资料；

⑨ 矿床共生和矿化分带特征。

在具体分析各地段成矿远景时，要综合考虑各种有利的控矿因素，并应着重于主要依据的深入分析，加强针对性，力求避免片面性和一般化。

（4）划分远景级别：各种矿产的预测区，都要根据地质条件有利程度，已知含矿情况（矿床及矿点的工业意义、工业类型等）和矿化信息的可靠性，划分远景级别。有时还要考虑研究程度。在研究地区内，一般可以分为成矿远景区，无需深入工作的地区和没有把握、成矿条件尚待研究的地区等三种情况。针对成矿远景区（即预测区），可按其成矿的有利程度划分级别，通常分为三级：

一级——有重要工业类型的矿床（矿点），有优越的成矿地质条件，矿化标志明显等。可考虑布置较大比例尺的综合找矿工作；

二级——具有较好的成矿地质条件，矿化标志比较明显，尚未发现工业矿床或只有少数矿点等。这级地段应加强物化探和综合研究工作，力求有新的突破；

三级——具有一定的成矿地质条件，但不够全面；尚未发现直接矿化标志；下一步工作可适当安排物化探扫面和专门性普查找矿。

（5）文字说明：主要论述各预测区的圈定依据、远景评价和进一步工作的建议。

图6-2是鄂东某测区内生金属成矿规律及预测图。测区内以铁、铜矿床为主，主要是受岩浆岩、地质构造和围岩性质诸因素相互制约和控制的。新华夏系北北东向隆起带和断裂带控制了矿种的分带。侵入接触构造和隐伏接触构造对铁铜矿的赋存起着极其重要的控制作用。测区21处铁铜工业矿床的主要矿体，52.4%赋存于侵入构造接触带中，47.2%赋存于岩体内部（其中38%与隐伏大理岩有关）。结合磁异常和化探异常，在测区共圈出一级预测区（成矿地质特征明显，可以与已知工业矿床地质条件相类比，物化探异常组合好且分布较集中，有已知工业矿床或有剩磁异常）4个，二级预测区（成矿地质条件有利，有物化探异常，有成矿显示）5个，三级预测区（成矿地质条件比较有利，有矿化现象和物化探异常）4个。该测区把老矿挖潜看成是成矿预测的一个重要方面，对已知矿区加强次级磁异常和剩磁异常的研究，寻找深部隐伏矿体，以扩大老矿区Fe、Cu储量。

第四节 矿区成矿预测方法

一、矿区成矿预测的原则要求

在矿区及其外围预测隐伏矿床（体）主要是以详细地质研究为基础，通过大比例尺地质测量、物化探、探矿工程等方法，作出相应的成矿预测图。这是矿区地质生产工作和研究工作的科学总结，是一项在大量生产实践基础上的综合研究工作。要求在工作中从具体实际出发，采用各种适合的方法，把占有的大量材料分析综合，找出规律，进行验证。尽管矿区验证条件较好，但预测要求具体，严格地受生产实践的检验，因而必须坚持为生产服务的思想，把研究工作走在生产的前面，为当前及长远的生产需要选择专题，进行研究，作为预测的基础，以便正确指出找矿勘探方向。

矿区成矿预测工作，应当注意下列几项原则要求：

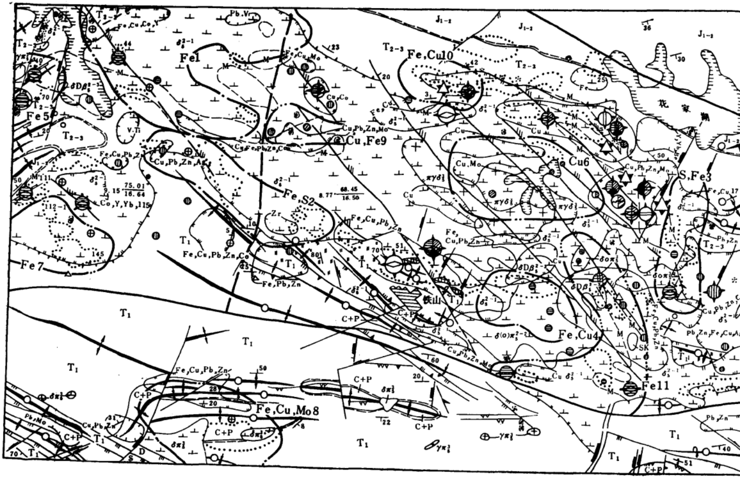
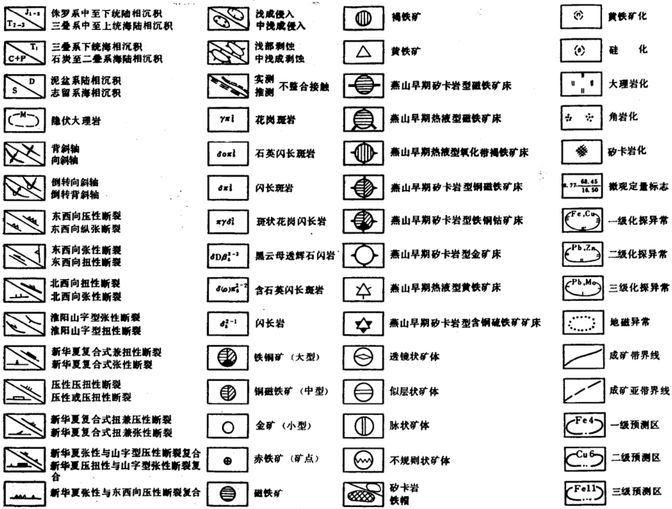


图6-2 鄂东某测区内生金属成矿规律及预测图


J1-3 侏罗系中至下统陆相沉积
T2-3 三叠系中至上统海陆相沉积
T1 三叠系下统海相沉积
C+P 石炭至二叠系海陆相沉积
D 泥盆系陆相沉积
S 志留系海相沉积
M 隐伏大理岩
背斜轴
向斜轴
倒转向斜轴
倒转背斜轴
东西向压性断裂
东西向纵张断裂
东西向张性断裂
东西向扭性断裂
北西向扭性断裂
北西向张性断裂
淮阳山字型张性断裂
淮阳山字型扭性断裂
新华夏复合式兼扭性断裂
新华夏复合式张性断裂
压性压扭性断裂
压性或压扭性断裂
新华夏复合式扭兼压性断裂
新华夏复合式扭兼张性断裂
新华夏张性与山字型压性断裂复合
新华夏压扭性与山字型张性断裂复合
新华夏张性与东西向压性断裂复合
浅成侵入
中浅成侵入
浅部剥蚀
中浅成剥蚀
实测
推测
不整合接触
花岗斑岩
石英闪长斑岩
闪长斑岩
斑状花岗闪长岩
黑云母透辉石闪岩
含石英闪长斑岩
闪长岩
铁铜矿（大型）
铜磁铁矿（中型）
金矿（小型）
赤铁矿（矿点）
磁铁矿
褐铁矿
黄铁矿
燕山早期矽卡岩型磁铁矿床
燕山早期热液型磁铁矿床
燕山早期热液型氧化带褐铁矿床
燕山早期矽卡岩型铜磁铁矿床
燕山早期矽卡岩型铁铜钴矿床
燕山早期矽卡岩型金矿床
燕山早期热液型黄铁矿床
燕山早期矽卡岩型含铜硫铁矿矿床
透镜状矿体
似层状矿体
脉状矿体
不规则状矿体
矽卡岩
铁帽
黄铁矿化
硅　化
大理岩化
角岩化
矽卡岩化
68.45
16.50
微观定量标志
Fe,Cu
一级化探异常
Pb,Zn
二级化探异常
Pb,Mo
三级化探异常
地磁异常
成矿带界线
成矿亚带界线
Fe4
一级预测区
Cu6
二级预测区
Fe11
三级预测区

(1) **完整性**：尽可能地收集研究已有的大量实际资料，建立各种表格卡片，如矿床登记表（表6-4），矿体登记表，矿脉登记表，矿化及裂隙调查原始记录卡片等，使预测工作建立在尽可能完整的资料基础上。不引用无依据、无出处的资料，对已有资料要进行检查核对。同时，也要注意编制图件的系统性与完整性。

表6-4 矿床登记表

矿床名称：
编　　号：

地理位置坐标及交通	围岩	近矿岩浆岩	矿田构造	围岩蚀变	成矿时代	矿体产状与规模	物质成分	矿石建造及其成因类型	矿石品位	矿床评价	研究程度	备注
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

(2) **客观性**：在充分尊重前人工作的成果和认识的基础上，强调现场反复调查，充分收集第一性资料的重要性，以深化认识。要避免主观臆断，要使成果成为客观规律的反映。凡有条件进行野外检查的，必须进行。例如江西某大脉型钨矿床产于中细粒白云母花岗岩，原认为岩体内的矿脉主要由张性裂隙控制，所有矿脉均已表露，深部已不可能出现盲脉。但在进一步调查中，发现岩体内确有盲矿的客观事实，据以重新研究，得出表露矿脉主要由压扭性裂隙控制的正确结论，并提出盲脉受补偿性裂隙控制的理论，即在区域应力作用下的均匀岩石中，当一组裂隙变小或消失，或密度变稀时，为解除岩石所受的应力，将产生另一组裂隙，或主脉旁侧增生羽张裂隙以作补偿。这种补偿性裂隙导致盲脉生成，多产于表露矿脉产状形态变化地段和不同走向脉组的平面撒开端等（图6-3）。据此，在原勘探的主脉之间的地段探获大批盲脉，新增上万吨储量。

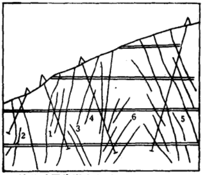


图6-3 某钨矿区花岗岩中受补偿性裂隙控制的盲脉

（据张华 1981年）

1—同倾脉组，前脉由缓变陡，在缓距最宽处产出同向急倾盲脉；2—同倾脉组，后脉深部呈反倾，反倾部位产出反向急倾盲脉；3—同倾脉组，后脉向深部尖灭，尖灭下部产出反向中倾盲脉；4—同倾脉组，一陡一缓，在脉距明显增大处产出同向急倾盲脉；5—同倾脉组，深部倾角变化，脉距增大，常产出同向急倾盲脉；6—异倾脉组，深部常发育中缓倾角盲脉，倾向与邻近表露脉常同

(3) **综合性**：对矿区各种探矿因素，如岩浆岩、围岩、构造等与矿床之间的错综复杂关系，尽可能全面、系统地进行综合研究，要借助于一些新技术、新方法、探索矿床形成和分布规律。

(4) **创造性**：在逐步深化的基础上，力求有新的认识。要结合矿区实际，学习先进理论，应用先进经验，不固守一格，力争有所创造与前进。

二、矿区成矿预测的步骤

矿区成矿预测的几个步骤大致归纳如下：

(1) **划定预测区范围，选择比例尺**：主要取决于工作需要和以往的工作程度，并在此基础

上，选择地形底图和适合的地质底图。

（2）收集、整理原有资料：对过去矿区各地段工作程度要有全面了解，可以把前人的工作和研究成果归纳出一个提要，作为继续研究的基础。要建立系统的表格和卡片，进行摘录和登记，边收集边整理。

（3）现场调查：如调查构造带的形态特征、力学性质、伴生构造、充填物质、活动顺序；调查矿化地段的构造、岩体、岩性、蚀变等细节变化及其与矿化的关系。调查时，要采集各种样品，加强测试工作。对测试结果进行地质综合分析和统计处理。现场调查应当贯穿于各个工作阶段之中。

（4）编制各种辅助图表：图表的主要内容、格式和要求视矿床类型而有所不同。这项工作是编制成矿规律图和预测图的前奏，是决定预测成效的重要步骤。编图过程也是对矿床认识不断深化的过程。工作量大，要求实用和富创造性。

（5）编制成矿规律图及预测图：这是矿区成矿预测工作的重要成果，文字报告是它的说明。矿区成矿规律图及预测图可作为编制矿区找矿勘探工作规划的依据。

（6）验证与设计：在预测的远景地段，应有一批验证项目，以不断修正与充实预测成果。矿区验证能力较强，要根据各预测区或各远景段工作程度和实际情况，做出统一安排。一切要从生产建设的当前和长远需要出发，进行设计和规划。

当工作进行到一定阶段时，应编制阶段性专题报告，不断总结情况，解决新出现的问题，提高对成矿条件和矿化信息的认识，探寻进一步的工作方向。

三、辅助图表的编制

在详尽收集资料和现场深入调查的基础上，应开展综合研究和编制各种专题研究图表。不同类型矿区，综合研究的重点有所不同，但一般说来，其研究和反映的内容应该做到如下的程度：

对于岩浆岩的划分要能反映出侵入体特别是含矿侵入体的不同期、相和不同成因类型的岩石学及地球化学特征，可用等深线标明岩体形态和侵入接触的形式，要标明用物探或其它方法确定的隐伏侵入体。要对所有的岩脉（特别是与矿化有密切关系的岩脉）进行研究，分别标在图上。

有的矿区，研究酸性岩脉的分布与岩体埋藏深度的关系，认为距岩体越近，脉岩越多越宽。如江西908队根据27条岩脉统计，60%的岩脉分布在距岩体0—50m内，超过250m就无岩脉出现。在地质填图中，于观测点上，用地形标高减去该地质点上接触变质岩的估算厚度（根据接触变质带的特点，参考脉岩的分布情况，推算而出），求得隐伏岩体顶板的海拔高度，在地质图上连接隐伏岩体顶板同标高的点，即可绘出隐伏岩体顶板等高线图，用此方法成功地预测了地下400m范围内的隐伏花岗岩体，找到了不少钨矿盲矿体。

对于不同的构造形态应该分别表示出来，除了把一般地质方法所查明的各种褶皱和断裂分别标明外，对于隐伏的断裂带应根据间接标志或物探资料确定出来。要准确地标定控矿构造的类型、位置、方向、断距等。

在长江中下游玢岩铁矿的研究中，利用构造-地球化学方法查明隐伏控矿构造，取得明显效果。研究工作表明，V_2O_5在磁铁矿中呈类质同象出现，V_2O_5与全铁（TFe）为正相关关系。基于矿液沿断裂裂隙流动的总趋势是由下往上、由深部往浅部、由断裂裂隙中心向两侧

运移的，因此反映V_2O_5/TFe的比值上也是由高到低的变化（图6-4）。为了全面地反映这种变化，采用了滑动平均法进行趋势面分析。这样，根据高趋势值和正剩余值等值线圈出长轴方向，即可代表隐伏的运矿断裂裂隙构造的位置。

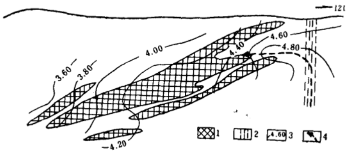


图 6-4 安徽陶村矿床6—8线间V_2O_5/TFe滑动平均等值线图

（据林新多等）

1—矿体；2—运矿构造；3—V_2O_5/TFe滑动平均等值线；4—矿液流动方向。

对于沉积岩岩性要尽可能详细的研究和划分，除表示现代侵蚀面已揭露的岩石以外，对找矿有利的被覆盖了的岩石也应设法在图上大致圈出，以衬托出主要构造背景。

对于矿化作用（包括与其有关的岩石蚀变和氧化带）的研究，往往根据不同矿床类型，提出某些专门性的研究课题，表示出不同成矿期的矿化特征，如矿体形状、产状、规模、空间分布、地球化学特征等。

对于物探、化探、重砂异常，均应编制专门的图件。

以某脉状金矿床为例，最主要的研究内容包括两个方面：金及其伴生元素在矿体和围岩中的赋存状况，控制金矿脉的构造情况，从而探讨找矿方向。该矿区综合研究工作中，主要采用了下列统计内容：

(1) 矿脉品位厚度统计（按不同线号、脉号、地点分别统计品位、厚度、米·克/吨值等）；

(2) 伴生元素统计（按不同地点和岩性分别统计元素的总数、分级、频度、众数、异常下限、特高值等）；

(3) 储量分布统计；

(4) 矿脉与围岩产状关系统计；

(5) 金矿化场强度统计（按不同矿化带不同标高统计）；

(6) 勘探工程及工作程度统计；

(7) 化探异常统计表；

(8) 伴生元素比值统计；

(9) 变化系数统计；

(10) 矿体长深比统计；

(11) 自然Au变化粒度统计；

(12) 各类岩性中微量金含量统计。

该金矿区结合统计整理及野外复查主要编制了如下辅助图件：

(1) 地质构造纲要图；

(2) 矿产分布图；
(3) 变质岩原岩岩性恢复图；
(4) 岩浆岩化学成分特征图；
(5) 构造典型特征素描图；
(6) 构造应力解析图；
(7) 岩体岩相图；
(8) 矿区及矿床物质成分图；
(9) 金属矿物、蚀变矿物共生组合图或矿化及蚀变分带图；
(10) 典型矿体元素转移曲线图；
(11) 矿床富集中心图、品位等值线图或矿化强度图；
(12) 主要矿床的综合地质图；
(13) 工程分布图；
(14) 地球化学异常分布图；
(15) 地球化学元素分带图；
(16) 有利围岩分布图；
(17) 同位素取样位置分布图；
(18) 岩组图。

四、成矿规律与成矿预测图的编制

矿区成矿规律的课题比较细致深入，成矿预测工作要求从三维空间考虑，向纵深发展。要研究深部地质构造（包括隐伏控矿构造）特点，研究矿化带（或矿体）的深延特征及侧伏规律等。因此，常常需要编制联合中段图、联合剖面图等立体图式，反映矿化空间展布特点。为了提高预测效果，采用地质-地球化学、地质-地球物探等手段，开展大比例尺立体填图是必要的。例如苏联鲁德内依阿尔泰矿区，在中比例尺矿产预测工作所选定的一级远景区内，选择了别洛乌索夫-别列佐夫矿田的中部地段开展以地质-地球物理为主要手段的1：5万立体填图，用1：2.5万地面磁测和垂直电测深法确定覆盖层厚度，用重砂、金属量和水化学测量查明原生晕和次生分散晕，用网度800×200m和400×100m的填图钻，追索矿化标志——热液蚀变带及其伴随的金属分散晕，借助普查构造钻查明矿化地段的深部地质构造，终于发现了隐伏的额尔齐斯大型铅锌矿床。广东阳春石绿铜矿，1975年通过编制《岩体矿体形态相关立体图》、《矿体平剖面图》等图件，进一步分析控矿规律，促使接触带外找矿的成功。

在大比例尺立体预测中，矿床带状分布规律具有特别重要的意义。B.И.斯米尔诺夫提出的"含矿范围"(即一定矿田或矿床范围内各期矿化在空间上总的垂直延展范围)及其与侵蚀面的关系研究，也有助于预测盲矿体的可能存在情况。山东某石英脉型金矿床，在以控矿断裂为主的综合研究中，发现工业矿体空间排列具有一定的规律，都分布在垂向延深约200m范围内，构成一个矿化富集带，而且深部开拓工程揭露的情况表明，在向下间隔为200m左右的矿化减弱带之后，还有可能出现第二个矿化富集带。

成矿规律图上应当反映出综合研究工作的主要认识，把各种地质因素与成矿的内在联系，以不同符号、色调表示出来，要求能够清晰地得到有关矿床分布规律与形成条件的概

念。有时，可以用成矿模式图反映研究成果。

随着矿床类型和成矿规律研究内容的不同，矿区成矿预测图的编制方法具有较大的灵活性。

以湘西西安 W（Au）矿区为例。该矿是一个中型白钨矿矿床，白云质灰岩层中的似层状白钨石英方解石网脉矿体（简称层状矿体），是矿区勘探和开采的主要矿体类型。1974年，矿山出现储量危机，为了充分开发地下资源，保证生产持续稳定，西安 W（Au）矿开展了成矿规律和成矿预测的研究。他们查阅近千份资料，整理了七个矿段 295 个钻孔、上万米坑道的原始编录，获得数据8万多个，总结出"五重叠"成矿规律：

① "四三"成矿构造条件 NE—SW延伸的田冲断层、郭家冲断层、红岩湾断层、老虎岩断层贯穿矿区，是4个导矿构造，白钨矿体呈板状、楔状赋存在断层两侧的含矿层中（图 6-5）。正断层上盘次级NE向密集裂隙带、下盘与导矿构造连通的次级 NE 向平行断层、逆断层下盘羽状裂隙发育部位是三种主要的容矿构造。"四三"成矿构造形成，决定了矿体的形态、规模和空间位置。

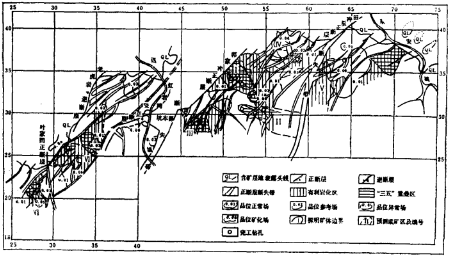


图 6-5 西安矿区含矿层中矿体预测图

（据向锦铭）

② "U"、"L"岩化特征 矿化地段的岩石 SiO_2 含量降低、CaO 含量升高，在剖面上反映出"U"型、倒"U"型的典线特征，特别是当CaO在25%±，SiO_2：CaO近于1，是矿体存在的岩石化学标志。

③ 灰白色硅化灰岩含矿，泥灰岩无矿。

④ "三·五"重叠区，即含矿层厚度大于 3m，含矿层上盘蚀变带（硅化、黄铁矿化、绢云母化，厚度大于5m的重叠区。

⑤ WO_3品位场 由于矿化不均匀，确定WO_3<0.01%为矿区背景值（正常场），0.01—0.03%为"参考场"，0.031—0.06%为异常场，0.06%以上为矿化场，在其它条件合适时，后三者都可以获得工业矿体。

该矿主要赋矿地段，都同时具备上述5个特征。显然，这是以成矿断裂构造为主，综合考虑地球化学、蚀变等特征，归纳出的控矿规律。钻探验证，效果很好。到1977年底，探明

保有年限8.3吨的储量，矿石量增长87.5%，金属量增长113%，并指明今后5年内的找矿方向，扭转生产被动的局面。

由于矿种往往共生出现，矿床（矿点）往往成带成群出现，所以成矿规律图可以是分矿种，单独编制，也可以是多矿种综合编制。对不同类型矿区，成矿预测的重点内容，颇有不同。例如，沉积矿床主要是对含矿地层的岩相、古地理环境进行深入研究，特别要注意沉积盆地的微地形和氧化还原环境等对矿化局部富集的控制作用，为了预测和追索矿层，要详细研究沉积岩相和含矿层的物质成分的变化。对于岩浆矿床，侧重于岩体的岩石类型、规模、形态、产状、化学成分、岩相、原生流动构造等的研究。西北某铬铁矿床，就是产在超基性岩带的一个较大的岩体中，岩体由斜辉辉橄岩及少量纯橄岩、橄榄岩异离体组成，较大的盲矿体均产于岩体底面洼槽中心部位，绝大多数盲矿体的侧伏产状，均与近矿围岩（纯橄岩）的流动构造产状一致，因而可以根据岩体流动构造，寻找有利成矿的洼槽部位，追寻铬铁矿体。此外，矽卡岩型矿床，强调岩体的岩石类型、接触带形态产状、围岩岩性等的预测意义；热液脉状充填矿床，则构造复合控矿，往往有突出的重要意义。

五、验证与设计

成矿规律图和预测图的编制，并不是预测工作的终结，从成矿预测一开始到预测区的验证，是一个完整的实践—认识过程。应当重视及时验证这一重要环节，并根据验证的成功或失误，及时加以充实或修正，去粗取精，去伪存真，以促使预测向更正确更准确的方向发展。

成矿规律图与预测图为找矿勘探工作设计提供依据，而找矿勘探工作设计的具体实施，却又是对各种相应比例尺成矿预测的检查与验证。

对于预测验证工作，需要有辨明真谛的决心。应善于总结正反两方面的经验，修正认识，不断提高预测能力，不能一遇到挫折就轻易放弃重要的验证步骤。一般说来，在变革自然的实践中，人们原定的思想、理论、计划、方案，毫无改变实现出来的事，是很少的。例如某金矿区，于1965年即将两条含金系统（闪长玢岩边部的含矿石英脉）划为远景区，1966年打了11个钻孔，所见矿化不强，匆忙做了否定的结论。经过多年的反复实践，认识到NWW向断裂为含矿构造，具有一定规模和矿化强度，过去钻孔间距过大，控制偏稀，加之没有正确分析"混合岩化现象"，因而得出无矿结论，于1974年根据控矿因素的新认识，重新划为二级远景地段，1977年重新布置钻孔，结果打到了矿体，证实当初定为"二级远景区"的预测是正确的。

成矿预测中加强验证工作是探索成矿规律的继续，并且也要依靠科学试验。由预测到验证成功，往往要经历许多艰难曲折，只有坚持不懈的努力，坚持辩证唯物论作指导，才能达到预期的目的。

第五节　成矿预测方法的若干动向

现有的成矿预测方法，仍须不断改进，不断提高，使之日趋完善。新的预测方法，犹如雨后春笋，破土而出，正在试验、探索与创造。现将成矿预测方法某些值得重视的发展动向，简介于后。

一、利用宇航照片解决区域成矿预测选区问题

在区域地质测量过程中，目前已普遍应用了区域航空摄影、航空和地面物探资料。随着空间遥测技术的进展，有些国家已在应用诸如人造地球卫星摄影、无线电传真测量、红外测量、雷达测量等资料。在宇航照片上，可以直观地看到地球上大型地质体的概貌，即能把很多局部的、复杂的构造迅速归纳为一个整体图象。卫星影象对各种地质现象有一定的"透视能力"，即透视被疏松沉积层覆盖的隐伏构造。这些有关影响矿床形成和分布的大地构造或隐伏构造的新资料，对区域成矿预测，在大面积上迅速评价远景、筛选远景区、划分成矿单元有重要的作用，对于覆盖的或地质研究程度较差的地区，则具有更大的意义。

宇航照片也可在研究控矿地质构造，搞清地壳结构特征方面发挥作用，从而为矿产预测提供有力的依据。例如，巴基斯坦利用卫照研究了和伊朗交界区域的铜矿，并利用这种研究成果在相邻地区预测了新矿床。又如，前已述及美国加州通过卫照解释，发现汞矿分布与"入"字型断裂有关，亚利桑那州发现铜矿床分布与NE和EW向构造交汇有关、德克萨斯州发现环形构造与盐丘一致等等，便是很好的例子。

二、古地磁学研究用于沉积矿产预测

古地磁学的研究，目前已成为解决地质学领域中某些重要问题的重要手段之一。在古地理、古气候研究和沉积矿产预测方面，利用古地磁确定古地极位置，并根据标本产地的古地磁场方向来推算古纬度、探讨古地理和古气候的问题，从而进一步根据古地理和古气候的资料来预测沉积矿产可能的时间和空间分布。例如加拿大和苏联的一些地质学者，利用古地磁来预测和寻找石油、钾盐、磷、铝土矿等沉积矿产，说明了古地磁研究的重要意义。

三、利用稳定同位素进行预测找矿

随着稳定同位素地质学研究的迅速发展，目前已将其成果应用于成矿预测。如应用铅、硫、碳、氧等同位素来进行地球化学的预测找矿。M.L.詹生对热液粘土矿物，以及热液白云石化或重结晶碳酸盐建造中$\delta^{18}O$值作了初步研究，提出可以作出$\delta^{18}O$空间分布的理想模式，以指示向矿液源接近时的温度变化，并可用来估计离矿液源的距离，认为这是一种很有远景的地球化学预测找矿的方法。M.希玛等研究了日本野之胁、加拿大赫冷铁矿等四个矿山的矿体边缘蚀变带的硫同位素，都发现$\delta^{34}S$随远离矿体而有不同程度的下降，认为这种变化规律可以用于预测找矿。R.S.康隆等在其《密西西比流域铅锌矿中铅同位素标志探查》一文中，提到了异常富集^{206}Pb和^{207}Pb的"铀-铅"，对于探查铀矿具有特殊的意义，找到含有这种铅成分的方铅矿，就意味着可能发现了铀矿床的线索；并可利用铅同位素资料指出找寻铅锌矿的有利区域。

四、开展构造地球化学研究指导矿产预测

构造地球化学研究成果，逐渐引进矿产预测领域。A.N.捷列特尼钦柯(1971)运用物理学实验中的向外扩散原则，对区域性岩浆活动与褶皱构造的关系有过较详细的论述。他指出，在经受褶皱的构造层分布地区，侵入岩体多数出现于褶曲的核部，不少情况下可以见到

酸性、中性、基性和超基性岩石在一起出现，而且在背斜褶曲的核部，酸性岩的产出部位多数比基性岩为高，向斜核部的情况则相反。中性岩介于二者之间（图6-6）。这可能与褶皱构造内部应力分布变化影响岩浆分异有关。

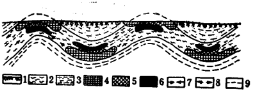


图 6-6 由褶皱构造地球化学特点形成的不同化学成分岩浆岩分布规律示意图

（据陈国达 1973年）

1—侵蚀地表面； 2—片麻岩； 3—沉积岩； 4—酸性岩； 5—中性岩； 6—基性岩； 7—压缩带； 8—拉伸带； 9—中和面

背斜轴部及其它正性构造核部所受围压和阻力较小，有关的岩浆活动和地球化学分异强烈。反之，负性构造受围压影响较大，地球化学作用往往减弱。不同性质的岩浆岩中，代表性的成矿元素的离子半径有明显不同。在基性岩里以中等大小离子半径的元素为主，如Fe、Mn、Cu、Ni、Ti、Pt、Co等，而酸性岩有关的成矿元素则以大离子半径及一部分小离子半径为主，如K、Na、Cs、Ba、Hg、Ag、W、La、As等。在褶皱过程中，离子半径大的元素向拉伸带运移，离子半径小的则向挤压带集中。这种地球化学特点，有利于探讨褶皱构造控矿规律。在具有类似情况的地区，可以使普查深部盲矿床的工作方向比较明确。

五、利用气体测量进行预测找矿

近些年来的研究表明，气体测量在追索埋藏很深的断裂构造和探寻盲矿体方面，能起重要的作用。

在不少情况下，可以观察到天然气体与金属矿体有密切关系。苏联的巴列依金矿就是一个例子。这个矿床大部分碳酸气聚积在石英脉与围岩的接触带中，因为含金石英脉都位于断裂或与其有关的破碎带内。该矿区采用岩心气体测量预测和探寻金矿体，得到了良好的效果。此外，地下矿体经氧化分解，在地面常能反映和造成空中“气晕”异常，借以指示地下矿化情况。这种气体指示剂主要是一些挥发性元素和气体，尤以“汞晕”应用较为广泛。经试验研究，汞与许多金属矿产密切伴生，利用汞蒸气测量可以指示许多有色金属硫化物矿床，特别是可作为预测硫化锌和硫化汞矿床的一种标志。在美国及加拿大对斑岩铜矿、金矿的研究表明，汞是一个有效的远程指示元素。在厚层冰碛物覆盖区，汞晕可上升达200—300英尺；在冲积物覆盖区，在地表物质中无异常反应，然而在地面上空的大气中却能有良好的异常。除汞以外，其它如SO_2、H_2S、CO_2、惰性气体、碳氢化合物、卤素元素及其氢化物等，也在研究试用。

六、利用热发光方法，在矿区内探寻新矿体

所谓热发光，就是晶体加热到红热温度（一般为400—600℃）之前发射光的现象。利用热发光方法探寻新矿体，一般是根据矿体附近因成矿作用造成的热发光晕，也就是热发光异常，来判断矿体的存在。异常的型式则往往是根据已知矿床的研究成果，应用于找寻类似地质条件的未知矿体。图6-7表明把热发光测量用于研究地质构造，热发光参数hE（总发光量）、Ph_1（第1峰的大小）、Ph_2（第2峰的大小）等在断裂带以北的蚀变带中都显著地增高，而在南侧没有这种变化，说明两条推定断层并不存在。目前，这种方法还只限于与岩浆

岩伴生的热液矿床及接触变质矿床。

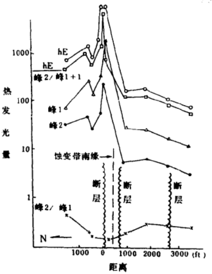


图 6-7 断层和重结晶（蚀变带）热发光参数的变化
（据蒋良俊）

七、加强地下物探促进预测找矿

地下物探的主要方法有井中磁测、井中激电、井中无线电波透视、井中地热，对石油和煤田还有井中地震和井中重力等。地下物探方法已越来越广泛应用于深部预测和找矿。

在苏、美、加、英、法、澳、日、瑞典等国，都广泛开展了地下物探方法理论的研究。苏联设有专门研究机构。高频电磁波法运用于金属矿勘探，在南乌拉尔和科拉半岛等有色金属矿区，取得了很好的地质效果。用X光荧光测井，在远东，雅库特、吉尔吉斯等地用来评价矿石中的锡、铅、锑、汞的含量，测定岩石中钡、锌、铜、钨、钼等元素。中子活化测井多用来寻找铜、锰、铅、氟、萤石等矿种。脉冲中子散射法能测量铁、镍、铬、铜等元素。此外，地球宇宙射线法、压电效应法也具有一定前景。

从国外总的趋势看，地下物探技术发展方向是从单参数向多参数，从大口径向小口径、从浅井向深井（2000m）、从定性解释向定量解释发展，给预测找矿提供重要的手段和信息，值得今后密切关注。

参 考 文 献

[1] 卢作祥、范永香，1982，成矿预测研究的几个问题。地球科学，第3期。
[2] 瓦.尼.科特利亚尔，1985，成矿学及成矿预测。地质出版社。
[3] 刘辅臣，1982，信息与找矿。长江日报，7月20日。
[4] 刘辅臣，1985，有关成矿预测的性质和任务。中国地质，第11期。
[5] 孙荣圭，1984，地球和地球科学的发展问题。高等教育出版社。
[6] 林新多等，1981，长江中下游玢岩铁矿中隐伏控矿构造的研究．矿田构造与成矿。地质出版社。
[7] 赵鹏大、胡旺亮、李紫金，1983，矿床统计预测。地质出版社。
[8] 陈国达，1978，成矿构造研究法。地质出版社。
[9] C.M.雅姆波利斯基，1983，科学技术进步的预测。上海科技文献出版社。
[10] П.А.舍赫特曼，1982，热液矿床详细构造预测图。地质出版社。